

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS E RODOVIÁRIAS

EMANUEL ALBERTO PINTO NUNES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JANEIRO DE 2019

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2018/2019

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2018/2019 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais, Avós, Irmã e Amigos

I am the master of my fate, I am the captain of my soul.

William Ernest Henley

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação, como parte final do trajeto do meu percurso académico, não estaria completa sem um agradecimento a todos aqueles que me ajudaram na sua realização:

Em primeiro lugar, queria expressar os meus agradecimentos ao Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, pela orientação, exigência, disponibilidade e pela compreensão apesar das contrariedades que me foram impostas na realização da tese e pelos ensinamentos transmitidos na unidade curricular de Acústica Ambiental e de Edifícios.

Em segundo lugar, ao Eng.º António Costa pela disponibilidade, simpatia e pelo auxílio na realização dos ensaios, nomeadamente na Estação Ferroviária de Campanhã e pelas informações prestadas que me foram úteis na realização do trabalho.

Um agradecimento ao Eng.º Diogo Vasconcelos, das Infraestruturas de Portugal, pelo apoio e informação fornecida e pela disponibilidade em facultar o acesso às estações ferroviárias para a realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela disponibilização do equipamento para a realização das medições.

A todos os meus amigos, aos que partilharam comigo este percurso académico, pela amizade incondicional, pelo apoio, pelas conversas e discussões, pelas horas de estudo no piso 4 da biblioteca e pelas horas de almoço que mais pareceram trocas de conhecimento. Laços que se formaram e que ficarão para a vida. Aos amigos de sempre, que me apoiaram desde o início e que apesar dos anos e das discussões são amigos que ainda resistem. Por último, aqueles que partilharam comigo, nos últimos dois anos, aqueles meses incansáveis de Verão que me fizeram crescer como homem e que me fizeram perceber que não interessa a educação que cada um tenha aprendemos sempre uns com os outros.

Por último, agradeço as pessoas que tiveram comigo a vida toda. Aos meus avós, aos que já partiram e aos que ainda permanecem ao meu lado, pelos ensinamentos, pela educação e pelo apoio que me transmitiram ao longo destes anos. Ao meu pai, que desde que me mostrou a primeira planta de um edifício, soube logo que era o que queria fazer, pelo seu apoio, exigência e pela educação que me transmitiu. À minha mãe pelo seu extravagante apoio e pelas suas constantes ordens, sem ela não estaria onde estou. Por fim, à minha irmã, pelo apoio incondicional ao longo destes anos, por me ter deixado partilhar casa com ela e pela paciência que demonstrou em me compreender, mesmo quando não era muito fácil aturar-me.

RESUMO

As estações ferroviárias e rodoviárias são os locais onde existe uma grande produção de ruído que afeta os passageiros que lá circulam diariamente. Um passageiro que se encontre numa estação deste género está exposto a vários tipos de ruídos, como o ruído produzido pela circulação dos veículos, ruído do veículo estacionário, ruído de abertura e fecho de portas, ruído residual (ruído existente na estação que não é produzido pelo veículo que está a ser avaliado), ruído ambiente (ruído existente na estação sem a circulação de veículos, excepto São Bento), ruído produzido pela mensagem sonora, ruído existente quando um passageiro se encontra na sala de espera, ruído afeto a sinais sonoros e ruído produzido por equipamentos. Estes casos merecem especial atenção dada a enorme exposição de ruído para ao qual as pessoas se encontram expostas e as possíveis consequências para a saúde que podem se originar.

Esta dissertação faz referência à história as estações ferroviárias, bem como a evolução do meio de transporte referente às mesmas, à evolução das rodovias e da empresa STCP em Portugal. Além disso faz um apanhado de avaliações semelhantes para o ruído produzido em estações ferroviárias em outros países do Mundo e a existência de soluções que tem como função minimizar o ruído produzido pelos comboios e o seu efeito nas pessoas.

Para os casos de estudo deste trabalho foram avaliados, de modo a quantificar a exposição ao ruído que diariamente milhares de pessoas estão sujeitas, o ruído de chegada, o ruído de partida, o ruído da chegada à partida, o ruído do veículo estacionado, o ruído de passagem (sem efetuar paragem) dos veículos, o ruído ambiente, o ruído da mensagem sonora e o ruído na sala de espera. As estações alvo de estudo apresentam uma morfologia e um funcionamento que condicionam a avaliação de certos ruídos (não existem nas estações), dado que alguns tipos de ruídos não foram avaliados em algumas estações. Para além de que o tipo de material ferroviário também inflaciona o ruído produzido pelos mesmos.

As estações alvo de estudo nesta dissertação foram as estações de Campanhã (Porto), São Bento (Porto), General Torres (Vila Nova de Gaia), Devesas (Vila Nova de Gaia) e Espinho, em que o objeto de estudo são comboios e locomotivas e as estações da Casa da Música (Boavista, no Porto) e do Parque das Camélias (Praça da Batalha, no Porto) em que objeto de estudo são autocarros. Os parâmetros avaliados em cada estação para cada tipo de ruído foram: o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}), níveis sonoros estatísticos (L_{A10} , L_{A50} e L_{A90}) e os níveis sonoros máximo (L_{Amax}) e mínimo (L_{Amin}).

Para o ruído de chegada os valores de L_{Aeq} variam entre os 83,4 e 70,1 dB, para a estação de Devesas e da Casa da Música, os valores de L_{Aeq} para o ruído de partida variam entre os 76,3 e 73,1 dB, para a estação da Espinho e a de General Torres, o ruído da chegada à partida apresenta maiores valores de L_{Aeq} na estação de Campanhã, com 76,2 dB e menores na estação da Casa da Música, com 72,6 dB. Relativamente ao ruído do veículo estacionado os valores de L_{Aeq} variam entre os 79,8 dB para Campanhã e 68,0 dB para o Parque das Camélias. O ruído de passagem dos veículos é maior na estação de General Torres, com 93,2 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias, com 67,6 dB(A). Os valores de L_{Aeq} do ruído ambiente são maiores em São Bento, com 74,9 dB e menores em Espinho, com 48,5 dB. Os valores de L_{Aeq} afetos à mensagem sonora variam entre os 76,4 e 69,7 dB, para São Bento e General Torres, respetivamente. Por último, os valores de L_{Aeq} para o ruído existente na sala de espera variam entre os 67,8 dB para São Bento e os 63,4 dB para Campanhã. De um modo geral as estações ferroviárias apresentam mais ruído que as estações rodoviárias.

Nesta dissertação será alvo de comparação os ruídos existentes nas estações ferroviárias e rodoviárias com os ruídos equivalentes existentes nas estações de metro do Porto.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica, Ruído, Estações Ferroviárias, Estações Rodoviárias, Portugal.

ABSTRACT

Railway and Bus Stations are places where there is a lot of noise production which affects the passengers that circulates there, every day. A passenger on a station of this type, is exposed to various types of noise, such as, noise produced by the movement of vehicles, parked vehicle noise, noise produced by the opening and closing of doors, residual noise (existing noise on the station that is not produced by the vehicle being evaluated), environment noise (noise in the station, without the contribution of vehicles, with exception of São Bento), noise produced by the sound message, existing noise when the passenger is in the waiting room, noise produced by the sound signals and noise produced by the equipment. These cases deserve special attention given tremendous exposure to noise to which people are exposed and possible consequences to health which may lead to.

This dissertation make reference to the history of railway stations, as well as the evolution of the means of transport for the same, to the evolution of the bus stations and STCP company in Portugal. Also, does the overview of evaluations of similar noise on railway stations in other countries in the World and the existence of solutions that have to minimize the noise produced by trains and the exposure of people.

For the case studies of this work have been assessed, in order to quantify the noise exposure of thousands of people every day, the noise of arrival, the noise of departure, the noise of the arrival to departure, the noise of the vehicle parked, the noise of the vehicles (without making stop), the environment noise, noise of sound message and the noise in the waiting room. Target study stations have a morphology and an operation affecting the evaluation of certain noises (certain noises don't exist in the stations), some type of noises have not been evaluated in some of stations. In addition that the type of railway material inflates the noise production.

Target study stations in this dissertation were the stations of Campanhã (Porto), São Bento (Porto), General Torres (in Vila Nova de Gaia), Devesas (in Vila Nova de Gaia) and Espinho, where the object study are trains and locomotives and the stations of Casa da Música (Boavista, in Porto) and Parque das Camélias (in Praça da Batalha, on Porto) where the object study is bus. The parameters evaluated in each station for each type of noise were equivalent continuous sound level (L_{Aeq}), statistics sound levels (L_{A10} , L_{A50} e L_{A90}) and maximum and minimum sound level (L_{Amax} and L_{Amin}).

For the noise of arrival, the values of L_{Aeq} vary between 83,4 and 70,1 dB, for Devesas station and Casa da Música station, the values of L_{Aeq} for the noise of departure vary between 76,3 and 73,1 dB, for Espinho and General Torres stations. The noise of the arrival to departure features highest values of L_{Aeq} for Campanhã Station, with 76,2 dB and lowest for Casa da Música, with 72,6 dB. Relatively to the noise of the vehicle parked, the values of L_{Aeq} vary between 79,8 dB for Campanhã and 68,0 dB for Parque das Camélias. The traffic noise is highest on General Torres station, with 93,2 dB(A) and lowest on Parque das Camélias, with 67,6 dB(A). The values of L_{Aeq} of environment noise are highest in São Bento, with 74,9 dB and lowest in Espinho, with 48,5 dB. The values of L_{Aeq} to the noise of sound message vary between 76,4 and 69,7 dB, for São Bento and General Torres, respectively. For last, the values of L_{Aeq} for the noise in the waiting room vary between 67,8 dB for São Bento and 63,4 dB for Campanhã. Generally speaking, the railway stations feature more noise than the Bus stations.

In this dissertation, will be subject of comparison the existing noises of railways and bus stations with the same existing noises in subway stations.

KEYWORDS: Acoustics, Noise, Railway Stations, Bus Stations, Portugal.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE QUADROS	XV
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	1
1.2. ESTRUTURA DA TESE	2
2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. SOM	3
2.2.1. DEFINIÇÃO	3
2.2.2. PRESSÃO	4
2.2.2.1. Variação da Pressão	4
2.2.2.2. Celeridade	4
2.2.2.3. Intensidade e Potência sonora	4
2.2.2.4. Nível de Pressão Sonora	5
2.2.2.5. Pressão Eficaz	6
2.2.2.6. Direccionalidade	6
2.2.3. FREQUÊNCIA	7
2.2.3.1. Tipos de Frequências	7
2.2.3.2. Tipos de Som	7
2.2.3.3. Bandas de Frequências	7
2.2.3.4. Curvas de Ponderação	8
2.2.3.5. Comprimento de onda	9
2.2.4. TEMPO	10
2.2.4.1. Análise no Tempo	10
2.2.4.2. Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente	10
2.2.4.3. Níveis de Pressão Sonora Estatísticos	10

2.3. ABSORÇÃO SONORA	10
2.3.1. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA	10
2.3.2. MATERIAIS E SISTEMAS.....	11
2.4. CAMPO DIRETO E CAMPO REVERBERADO	12
2.5. REFLEXÃO SONORA	13
2.5.1. DEFINIÇÃO	13
2.5.2. ECO.....	13
2.6. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	13
2.6. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA	15
2.6.1. DEFINIÇÃO	15
2.6.2. PARÂMETROS OBJETIVOS	16
2.7. RUÍDO AMBIENTE	17
2.8. ATENUAÇÃO POR DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA	18
3. ACÚSTICA DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS E RODOVIÁRIAS	19
3.1. FERROVIA	19
3.1.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	19
3.1.1.1. Evolução do Material Circulante	19
3.1.1.2. Evolução da Ferrovia em Portugal.....	20
3.1.2. PRODUÇÃO DE RUÍDO FERROVIÁRIO	22
3.1.3. MODELAÇÃO DO RUÍDO FERROVIÁRIO.....	23
3.1.4. ESTUDOS REALIZADOS	24
3.1.4.1. Cidade de Ijuí, Rio Grande do Sul (Brasil)	24
3.1.4.2. Malásia	25
3.1.5. MEDIDAS PARA O RUÍDO FERROVIÁRIO	27
3.2. RODOVIA	32
3.2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	32
3.2.2. PRODUÇÃO DE RUÍDO RODOVIÁRIO.....	32
3.2.3. MODELAÇÃO DO RUÍDO RODOVIÁRIO	33
3.2.4. ESTUDOS REALIZADOS	33
3.2.4.1. Toronto	33
3.2.4.2. Uberlândia, Minas Gerais (Brasil).....	34

4. CASOS DE ESTUDO	37
4.1. ESTAÇÕES ANALISADAS	37
4.1.1. OS SETE CASOS DE ESTUDO	37
4.1.2. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE CAMPANHÃ - FC	39
4.1.3. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE SÃO BENTO - FSB	40
4.1.4. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE GENERAL TORRES (VILA NOVA DE GAIA) – FGT	42
4.1.5. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DAS DEVESAS (VILA NOVA DE GAIA) – FD	43
4.1.6. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE ESPINHO – FE	44
4.1.6.1. Caracterização Geral	44
4.1.6.2. Projeto Acústico	46
4.1.7. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DA CASA DA MÚSICA – RCM	46
4.1.8. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DO PARQUE DAS CAMÉLIAS – RPC	47
5. AVALIAÇÃO ACÚSTICA	49
5.1. INTRODUÇÃO	49
5.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE	49
5.3. EQUIPAMENTOS	50
5.4. TIPOS DE RUÍDOS EXISTENTES	51
5.5. REQUISITOS LEGISLATIVOS	52
5.6. MÉTODO DE AVALIAÇÃO	54
5.6.1. CALENDARIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES	54
5.6.2. CASO GERAL	54
5.6.3. CASOS DE ESTUDO	55
5.6.3.1. Estação Ferroviária de Campanhã – FC	55
5.6.3.2. Estação Ferroviária de São Bento – FSB	56
5.6.3.3. Estação Ferroviária de General Torres (Vila Nova de Gaia) – FGT	57
5.6.3.4. Estação Ferroviária das Devesas (Vila Nova de Gaia) – FD	57
5.6.3.5. Estação Ferroviária de Espinho – FE	58
5.6.3.6. Estação Rodoviária da Casa da Música – RCM	59
5.6.3.7. Estação Rodoviária do Parque das Camélias – RPC	59
5.6.4. QUADROS SÍNTESE	60
6. RESULTADOS	63
6.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	63

6.1.1. INTRODUÇÃO.....	63
6.1.2. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE CAMPANHÃ (FC).....	63
6.1.3. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE SÃO BENTO (FSB).....	69
6.1.4. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE GENERAL TORRES (FGT).....	74
6.1.5. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DAS DEVESAS (VILA NOVA DE GAIA) (FD).....	79
6.1.6. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE ESPINHO (FE).....	85
6.1.7. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DA CASA DA MÚSICA (RCM).....	90
6.1.8. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DO PARQUE DAS CAMÉLIAS (RPC).....	95
6.2. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE AS ESTAÇÕES DE ESTUDO.....	98
6.2.1. INTRODUÇÃO.....	98
6.2.2. RUÍDO DE CHEGADA.....	98
6.2.3. RUÍDO DE PARTIDA.....	101
6.2.4. RUÍDO DA CHEGADA Á PARTIDA.....	104
6.2.5. RUÍDO DO VEÍCULO ESTACIONADO.....	106
6.2.6. RUÍDO DE PASSAGEM.....	108
6.2.7. RUÍDO AMBIENTE.....	111
6.2.8. MENSAGEM SONORA.....	112
6.2.9. RUÍDO NA SALA DE ESPERA.....	114
6.3. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE AVALIAÇÕES DE RUÍDO NOUTROS PAÍSES.....	116
6.3.1. RUÍDO FERROVIÁRIO.....	116
6.3.1.1 Cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul (Brasil).....	116
6.3.1.2. Malásia.....	118
6.3.2. RUÍDO RODOVIÁRIO.....	119
6.3.2.1. Toronto (Canadá).....	119
6.3.1.5. Uberlândia, Minas Gerais (Brasil).....	120
7. COMPARAÇÃO COM O METRO DO PORTO.....	123
7.1. INTRODUÇÃO.....	123
7.2. COMPARAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTE NAS ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS, RODOVIÁRIAS E DE METRO.....	123
7.3. COMPARAÇÃO DO RUÍDO DE CIRCULAÇÃO DO MATERIAL CIRCULANTE NAS ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS, RODOVIÁRIAS E DE METRO.....	126
8. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	129

8.1. CONCLUSÕES	129
8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Propagação do som sob a forma de ondas concêntricas sendo a fonte sonora o centro [Adaptado de [3]].	4
Fig. 2.2 – a) som puro de baixa frequência; b) som puro de alta frequência; c) som complexo, composição dos sons puros a) e b) [3].	7
Fig. 2.3 – Explicação das diferentes curvas de ponderação (filtros) A, B, C, D [2].	8
Fig. 2.4 – Representação esquemática do campo direto e reverberado (com os percursos possíveis realizados pelas ondas emitidas pela onda sonora, um caminho para o som direto e dois caminhos para o som refletido) [Adaptado de [4]].	12
Fig. 2.5 – Reflexão das ondas sonoras quando incidem numa superfície plana [Adaptado de [5]].	13
Fig. 2.6 – Curvas de decaimento do tempo de reverberação. Na situação A, o baixo ruído de fundo permite o decaimento de 60 dB. Na situação B, o ruído de fundo mais elevado não permite o decaimento de 60 dB, tendo que se utilizar o decaimento de 20 ou 30 dB, dependendo do caso [5].	14
Fig. 3.1 – Locomotiva a vapor desenvolvida por George Stephenson [9].	19
Fig. 3.2 – TGV (Trains à Grande Vitesse), modelo de comboio de alta velocidade, atualmente utilizado na Europa [10].	20
Fig. 3.3 – Comboio Alfa Pendular, pertencente à frota disponível das Infraestruturas de Portugal [14].	21
Fig. 3.4 – Fontes de ruído ferroviário [adaptado de [15]].	22
Fig. 3.5 – Primeiro autocarro para transporte público da empresa STCP [26].	32
Fig. 4.1 – Mapa das estações ferroviárias e rodoviárias avaliadas e devidamente sinalizadas. (1 – Estação de Campanhã, 2 – Estação de São Bento, 3 – Estação de General Torres, 4 – Estação de Devesas, 5 – Estação de Espinho, 6 – Estação da Casa da Música, 7 – Estação do Parque das Camélias) [28].	38
Fig. 4.2 – Entrada principal da estação ferroviária de Campanhã. [Foto do Autor].	39
Fig. 4.3 – Interior (a céu aberto) da estação ferroviária de Campanhã. [Foto do Autor].	39
Fig. 4.4 – Localização da estação ferroviária de Campanhã (área da estação sinalizada na imagem) [28].	40
Fig. 4.5 – Fachada principal da estação ferroviária de São Bento [foto do Autor].	40
Fig. 4.6 – Interior da estação ferroviária de São Bento. [foto do Autor].	41
Fig. 4.7 – Localização da estação de São Bento (sinalizada na imagem) [28].	41
Fig. 4.8 – Entrada superior da estação ferroviária de General Torres, com ligação à Avenida da República, em Vila Nova de Gaia [foto do Autor].	42
Fig. 4.9 – Interior da estação ferroviária de General Torres (Vila Nova de Gaia). [foto do Autor].	42

Fig. 4.10 – Localização da estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia (sinalizada na imagem) [28].	43
Fig. 4.11 – Entrada principal da estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia. [foto do Autor]	43
Fig. 4.12 – Interior da estação ferroviária das Devesas (Vila Nova de Gaia). [foto do Autor].	44
Fig. 4.13 – Localização da estação ferroviária de Devesas, em Vila Nova de Gaia (sinalizada no mapa) [28].	44
Fig. 4.14 – Entrada principal da estação ferroviária de Espinho. [foto do Autor].	45
Fig. 4.15 – Interior, no subsolo, da estação ferroviária de Espinho. [foto do Autor].	45
Fig. 4.16 – Localização da estação ferroviária de Espinho (sinalizada no mapa) [28].	46
Fig. 4.17 – Estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto. [foto do Autor].	47
Fig. 4.18 - Localização do Terminal de autocarros da Casa da Música, na Boavista, no Porto (sinalizada na imagem) [28].	47
Fig. 4.19 – Estação rodoviária do Parque das Camélias, junto da Praça da Batalha, no Porto. [foto do Autor].	48
Fig. 4.20 – Localização do Terminal de Autocarros do Parque das Camélias (sinalizado no mapa) [28].	48
Fig. 5.1 – Sonómetro do tipo 2236 da empresa B&K [foto do autor].	50
Fig. 5.2 – Ruídos existentes no movimento dos meios de transporte.	52
Fig. 5.3 – Esquema representativo da posição do local de medição face ao veículo em avaliação. ...	55
Fig. 5.4 – Corte da planta (sem escala) da estação ferroviária de Campanhã, com os 7 pontos de medição.	55
Fig. 5.5 – Planta (sem escala) da estação ferroviária de São Bento, com os 8 pontos de medição. (S.E. – Sala de Espera).	56
Fig. 5.6 – Planta (sem escala) da estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia, com os 2 pontos de medição.	57
Fig. 5.7 – Planta (sem escala) da estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia, com os 3 pontos de medição.	58
Fig. 5.8 – Planta esquemática (sem escala) da estação ferroviária de Espinho, com 3 pontos de medição.	58
Fig. 5.9 – Planta esquemática (sem escala) da estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, com os 5 pontos de medição.	59
Fig. 5.10 – Planta esquemática (sem escala) da estação rodoviária do Parque das Camélias, na Praça da Batalha, com os 3 pontos de medição.	60

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores das numéricos das ponderações da curva A para a gama audível [2].	9
Quadro 2.2 – Valores para a realização do método de obtenção do parâmetro de inteligibilidade da palavra AC [2].	16
Quadro 2.3 – Valores do SIL (em dB) para os quais a comunicação da palavra é possível [2].	17
Quadro 3.1 – Valores dos resultados obtidos para a medição do ruído produzido pelo comboio de mercadorias na cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul (Brasil) [Adaptado de [18]].	25
Quadro 3.2 – Valores dos resultados obtidos para a medição do ruído ambiente na cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul (Brasil) [Adaptado de [18]].	25
Quadro 3.3 - Nível sonoro máximo e mínimo do ruído existente diversas estações da Malásia [19].	26
Quadro 3.4 - Níveis sonoros contínuos equivalentes produzidos pelos diferentes tipos de comboios da frota de material ferroviário da Malásia [19].	26
Quadro 3.5 – Nível sonoro por distância ao recetor [19].	27
Quadro 3.6 – Valores limites máximos de ruído para os diferentes tipos de material circulante de acordo com o TSI [16].	28
Quadro 3.7 – Valores máximos de ruído de paragem por tipo de material ferroviário [22].	29
Quadro 3.8 – Valores máximos para o ruído de passagem, em função da velocidade, por tipo de material ferroviário [22].	29
Quadro 3.9 – Atenuações de ruído com base nos projetos europeus Silent Freight e Silent Track [2].	30
Quadro 3.10 – Medidas de redução do ruído do ponto de vista do recetor [Adaptado de [16]].	31
Quadro 3.11 – Origem do ruído rodoviário nos veículos pesados. [2].	33
Quadro 3.12 – Níveis sonoros do ruído produzido pelo autocarro em duas situações diferentes [16].	34
Quadro 3.13 – Nível sonoro do ruído de circulação existente nas estações rodoviárias de Uberlândia, no Brasil [28].	34
Quadro 3.14 – Valores máximos do nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, presentes na norma NBR 10151 [17].	35
Quadro 5.1 – Valores limites de exposição segundo o RGR [38].	53
Quadro 5.2 – Número de medições para cada tipo de ruído em cada estação alvo de estudo.	61
Quadro 5.3 – Locais de medição nas estações para a avaliação dos ruídos existentes.	62
Quadro 6.1 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente, nível sonoro máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Campanhã.	64

Quadro 6.2 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Campanhã.....	65
Quadro 6.3 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído do comboio estacionado, o ruído ambiente, o ruído existente na sala de espera (S.E.) e o ruído produzido pela mensagem sonora na estação rodoviária de Campanhã.	67
Quadro 6.4 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído do comboio estacionado, ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de Campanhã.....	68
Quadro 6.5 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de Campanhã.....	69
Quadro 6.6 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e dos comboios estacionados na estação ferroviária de São Bento...	70
Quadro 6.7 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e dos comboios estacionados na estação ferroviária de São Bento.	71
Quadro 6.8 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de São Bento.	72
Quadro 6.9 – Medições dos níveis sonoros contínuos equivalentes para o ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de São Bento.....	73
Quadro 6.10 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de São Bento.	73
Quadro 6.11 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e da chegada à partida dos comboios na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.	74
Quadro 6.12 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida, da chegada à partida dos comboios na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia. ..	76
Quadro 6.13 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de passagem, ruído ambiente e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.....	77
Quadro 6.14 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de passagem, ruído ambiente e mensagem sonora na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.....	78
Quadro 6.15 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.....	79
Quadro 6.16 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.....	80
Quadro 6.17 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.....	82

Quadro 6.18 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de passagem de comboios, ruído ambiente, ruído na sala de espera e mensagem sonora na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.....	83
Quadro 6.19 - Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de passagem, ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e mensagem sonora na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.....	84
Quadro 6.20 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.....	85
Quadro 6.21 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Espinho.	86
Quadro 6.22 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Espinho.	87
Quadro 6.23 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de passagem dos comboios e ruído ambiente na estação ferroviária de Espinho.	88
Quadro 6.24 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de passagem dos comboios e ruído ambiente na estação ferroviária de Espinho.	89
Quadro 6.25 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de Espinho.	89
Quadro 6.26 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e da chegada á partida dos autocarros na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.....	91
Quadro 6.27 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e da chegada á partida dos autocarros na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.	92
Quadro 6.28 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído dos autocarros estacionados, ruído de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.....	93
Quadro 6.29 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído dos autocarros estacionados, ruído de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.	94
Quadro 6.30 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.....	95
Quadro 6.31 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de partida, dos autocarros estacionados, de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária do Parque das Camélias, na Batalha, no Porto.	96
Quadro 6.32 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de partida, dos autocarros estacionados, ruído de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária do Parque das Camélias, na Batalha, no Porto,.....	97
Quadro 6.33 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação rodoviária do Parque das Camélias, na Batalha, no Porto.....	98
Quadro 6.34 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído de chegada dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.	99

Quadro 6.35 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído de partida dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.	101
Quadro 6.36 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído da chegada á partida dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.	104
Quadro 6.37 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído dos meios de transporte estacionados nas estações alvo de estudo.	107
Quadro 6.38 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído de passagem dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.	109
Quadro 6.39 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído ambiente nas estações alvo de estudo.	111
Quadro 6.40 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído produzido pela mensagem sonora nas estações alvo de estudo.	112
Quadro 6.41 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído produzido pela mensagem sonora nas estações alvo de estudo.	115
Quadro 6.42 – Nível sonoro contínuo equivalente para o ruído ambiente das estações de Portugal e nos locais da cidade de Ijuí.	117
Quadro 6.43 – Nível sonoro equivalente para o ruído de passagem dos veículos nas estações de Portugal e locais do Brasil.	117
Quadro 6.44 – Nível sonoro contínuo equivalente e nível sonoro máximo para o ruído ambiente e ruído do veículo estacionado, respetivamente, nas estações de Portugal e da Malásia.	118
Quadro 6.45 – Nível sonoro contínuo equivalente e nível sonoro máximo para o ruído de partida e de chegada dos veículos nas estações de Portugal e dos locais de Toronto (Canadá).	120
Quadro 6.46 – Nível sonoro contínuo equivalente para o ruído de veículos a uma velocidade de circulação baixa nas estações de Portugal e do Brasil.	121
Quadro 7.1 – Valores das médias do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros estatísticos para o ruído ambiente existentes nas estações do Metro do Porto [1].	123
Quadro 7.2 – Valores das médias do nível sonoro equivalente e níveis sonoros estatísticos para o “ruído ambiente” existente nas estações ferroviárias, rodoviárias e de metro [1].	124
Quadro 7.3 – Valores das médias do nível sonoro equivalente e níveis sonoros estatísticos para o ruído de circulação do metro nas estações do metro do Porto [1].	126
Quadro 7.4 – Valores das médias do nível sonoro equivalente e níveis sonoros estatísticos, para o ruído de circulação dos meios de transporte nas estações [1].	127
Quadro 8.1 – Valores médios do nível sonoro contínuo equivalente para as estações de maior e menor produção de ruído para os diferentes tipos.	130
Quadro 8.2 – Diferença média nas estações com e sem circulação de veículos.	130
Quadro 8.3 – Diferença de ruído existe na sala de espera e no exterior junto das linhas férreas nas estações alvo de estudo.	131

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

- α - Coeficiente de absorção sonora teórico
- Δ - Diferença aritmética entre valores numéricos
- λ - Comprimento de onda [m]
- θ - Temperatura do ar [°C]
- ρ - Massa volúmica do ar
- A – Superfície de absorção sonora equivalente [m²]
- AC - *Articulation Class* (Classe de Articulação)
- c – Celeridade [m/s]
- CP – Comboios de Portugal
- dB – Decibel (unidade de medida)
- dB(A) – Decibel, ponderado A
- E – Energia [J]
- FC – Estação Ferroviária de Campanhã (Porto)
- FD – Estação Ferroviária das Devesas (Vila Nova de Gaia)
- FE – Estação Ferroviária de Espinho
- FGT – Estação Ferroviária de General Torres (Vila Nova de Gaia)
- FSB – Estação Ferroviária de São Bento (Porto)
- F – Feminino
- f – Frequência [Hz]
- I – Intensidade Sonora [W/m²]
- IP – Infraestruturas de Portugal
- L₁₀ – Nível de pressão sonora estatístico N10 [dB]
- L₅₀ – Nível de pressão sonora estatístico N50 [dB]
- L₉₀ – Nível de pressão sonora estatístico N90 [dB]
- L_A – Nível sonoro, ponderado A [dB]
- L_{Aeq} – Nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A [dB]
- L_{A10} – Nível sonoro estatístico N10, ponderado A [dB]
- L_{A50} – Nível sonoro estatístico N50, ponderado A [dB]
- L_{A90} – Nível sonoro estatístico N90, ponderado A [dB]
- L_{Amáx} - Nível sonoro máximo, ponderado A [dB]
- L_{Amín} – Nível sonoro mínimo, ponderado A [dB]

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

$L_{máx}$ – Nível de pressão sonora máximo [dB]

$L_{mín}$ – Nível de pressão sonora mínimo [dB]

L_N – Nível de pressão sonora estatístico [dB]

M – Masculino

MS – Mensagem Sonora

p – Pressão Sonora [Pa]

p_{ef} – Pressão eficaz [Pa]

p_0 – Pressão sonora de referência [Pa]

RAMB – Ruído Ambiente

RASTI – *Rapid Speech Transmission Index*

RCHG – Ruído de Chegada

RCM – Estação Rodoviária da Casa da Música (Boavista, no Porto)

RCP – Ruído da Chegada à Partida

REST – Ruído do Veículo Estacionado

RPAR – Ruído de Partida

RPAS – Ruído de Passagem do Veículo

RPC – Estação Rodoviária do Parque das Camélias (Praça da Batalha, no Porto)

RSE – Ruído na Sala de Espera

RRAE – Regulamento de Requisitos Acústicos de Edifícios

S_i – Área de superfície do material i [m^2]

SIL – *Speech Interference Level*

STCP - Sociedade de Transportes Coletivos do Porto

STI – *Speech Transmission Index*

T – Período [s]

V – Volume [m^3]

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

Nos dias de hoje o ser humano tem cada vez mais exigências em relação aos edifícios, quer no que toca à sua qualidade térmica, à disposição dos vários elementos no espaço, à sua qualidade acústica, ao modo de iluminação, à segurança e até mesmo o nível de tecnologia existente. Cada espaço tem exigências acústicas que permitem o conforto e bem-estar do utilizador, desde salas de espetáculos que se adaptam aos tipos de funções a que se destinam, com base na variação de absorção ou variação de volume, até salas de jantar de restaurantes onde existe a carência de uma maior absorção sonora de modo a permitir a interação entre os clientes.

As infraestruturas de suporte aos meios de transporte requerem um conhecimento e por vezes a necessidade de existir tratamentos acústicos, uma vez que são edifícios e locais onde existe uma grande produção de ruído, como é o caso das estações ferroviárias e rodoviárias. Nestes tipos de estações o ruído é elevado (em certas ocasiões é muito elevado durante um alargado período de tempo) o que prejudica a saúde e bem-estar dos seus utilizadores e trabalhadores.

As grandes preocupações acústicas nas estações ferroviárias e rodoviárias são: a diminuição do ruído produzido pelos meios de transporte, especialmente o ruído de passagem dos mesmos sem efetuar paragem, dado que é o ruído de maior intensidade; diminuir o ruído ambiente em certas estações de modo a permitir a difusão da mensagem sonora, útil na transmissão de informação para os passageiros e aumentar a absorção sonora nas salas de espera de modo a que o passageiros tenha maior conforto acústico nestes lugares que nas plataformas exteriores.

O objetivo desta dissertação é o estudo e caracterização acústica das estações ferroviárias e rodoviárias, através da realização de medições em várias estações de modo a poder efetuar uma comparação, por tipo de ruído, entre elas e com o intuito de perceber qual das estações, ferroviária e rodoviária, um passageiro se encontra mais exposto ao ruído, bem como a comparação com outros estudos já efetuados. Os parâmetros acústicos avaliados foram o nível sonoro contínuo equivalente, níveis sonoros estatísticos de N 10, 50 e 90 e os níveis sonoros máximo e mínimo. Estes parâmetros permitiram avaliar o ruído de chegada, de partida, da chegada à partida e da passagem dos veículos, bem como o ruído produzido pelo veículo estacionado, o ruído ambiente na estação, o ruído produzido pela mensagem sonora e o ruído existente na sala de espera. Contudo, a morfologia e o modo de funcionamento de cada estação só permite avaliar certos tipos de ruídos, pelo que em certas estações existiram ruídos (daqueles enunciados anteriormente) que não foram avaliados. Outros parâmetros como o Tempo de Reverberação não foram avaliados, uma vez que a maior parte das estações são locais abertos, logo não seria interessante avaliar.

A caracterização acústica foi realizada nas estações ferroviárias de Campanhã (Porto), São Bento (Porto), General Torres (Vila Nova de Gaia), Devesas (Vila Nova de Gaia) e Espinho e nas estações rodoviárias da Casa da Música (Boavista, Porto) e do Parque das Camélias (Praça da Batalha, Porto).

As medições efetuadas nestas estações permitem comparar os valores obtidos com os das estações de metro do Porto e assim tirar conclusões sobre a maior ou menor exposição ao ruído em cada tipo de infraestrutura.

1.2. ESTRUTURA DA TESE

Esta dissertação desenvolve-se no seguinte formato:

No primeiro e presente capítulo, *Introdução*, está exposto o enquadramento e objetivo deste trabalho, bem como a sua estruturação.

O segundo capítulo, *Conceitos e Definições*, enuncia os conceitos base da acústica e conceitos específicos da acústica ambiental e de edifícios necessários ao desenvolvimento e compreensão das temáticas deste trabalho.

O terceiro capítulo, *Acústica de Estações Ferroviárias e Rodoviárias*, faz numa primeira fase um resumo histórico da evolução dos meios de transporte alvo de estudo, assim como a evolução histórica das infraestruturas de suporte, as estações. Está presente neste capítulo como se desenvolve o ruído produzido por esses meios de transporte. Por fim, apresenta estudos dos ruídos avaliados em estações em outros países.

No quarto capítulo, *Casos de Estudo*, é elaborada uma breve descrição histórica, da localização e da morfologia das estações que são alvo de análise.

O quinto capítulo, *Avaliação Acústica*, enumera os parâmetros que foram medidos nas estações, bem como os tipos de ruído que foram avaliados. É descrita também a metodologia de realização dos ensaios em todas as estações.

No sexto capítulo, *Resultados*, expõe os valores obtidos para cada parâmetro de cada tipo de ruído em cada estação bem como a comparação dos resultados obtidos entre as estações.

No sétimo capítulo, *Comparação com o Metro do Porto*, é comparado os valores obtidos nas estações ferroviárias e rodoviárias com os valores semelhantes nas estações de Metro do Porto, fornecidos pela dissertação “Caracterização Acústica de Estações de Metro” [1].

O oitavo e último capítulo, *Conclusões*, analisa os resultados obtidos e apresenta considerações finais desta dissertação.

2

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. INTRODUÇÃO

O ser humano possui sistema auditivo capaz de perceber uma grande gama de sons. Com a evolução do tempo o ser humano foi aumentando o conhecimento do comportamento das ondas sonoras e entender os seus efeitos no ser humano. Com o passar dos anos e consequente melhoria das tecnologias, o homem evoluiu de modo a privilegiar a percepção dos sons e ruídos, facilitando sua sobrevivência desde os primórdios da espécie até aos dias de hoje, melhorando aspetos da nossa vida quotidiana. A procura constante pelo seu conforto e bem-estar, nomeadamente, na acústica levou o ser humano a ter exigências relativas aos edifícios que frequenta, bem como a preocupação pelo ruído produzido em certos edifícios, neste caso, estações ferroviárias e rodoviárias.

No presente capítulo serão explicados conceitos base da acústica e conceitos específicos da acústica ambiental e de edifícios que permitem perceber não só o que se pretende explicar com esta dissertação, mas também o que foi avaliado.

2.2. SOM

2.2.1. DEFINIÇÃO

O Som pode ser descrito com uma sensação provocada no cérebro devido à captação, pelo sistema auditivo, de alterações de pressão que se propagam num meio elástico, neste caso de estudo, o ar. Assim sendo, um som só existirá se aquando da alteração da pressão num determinado ponto, existir um ser vivo que tenha um sistema auditivo capaz de captar e interpretar as alterações de pressões existentes no espaço. O facto de a existência do som depender de um sistema auditivo que o interprete induz para o carácter subjetivo desta definição, sendo assim o que pode ser som para alguns, pode ser ruído para outros devido a interpretação que o sistema auditivo de um certo individuo dá a alteração de pressão sonora existente. Na maior parte das situações o som propaga-se no ar sob a forma de ondas esféricas concêntricas, tendo a fonte sonora como centro (fonte pontual), o centro é o ponto onde se origina a alteração de pressão (Fig. 2.1) [2].

O som é caracterizado por um estímulo sonoro, que fisicamente, é a vibração de um meio elástico (ar) que, estimulado por cordas vocais, diapasão, etc., é transmitido às moléculas (ou partículas) adjacentes até chegarem ao ouvido, criando-se assim zonas de rarefação e compressão de moléculas que se

propagam no espaço, é o resultado desta vibração que é interpretado pelo cérebro (sistema auditivo) do ser vivo [2].

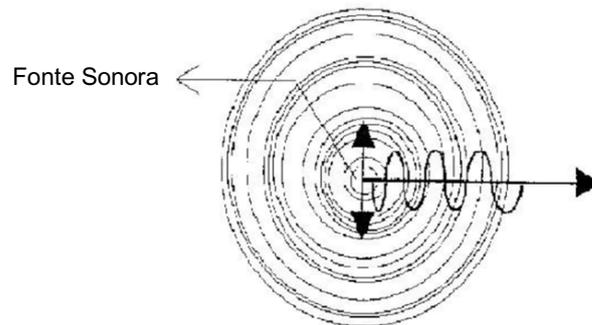


Fig. 2.1 – Propagação do som sob a forma de ondas concêntricas sendo a fonte sonora o centro [Adaptado de [3]].

O estudo do som pode ser realizado em três domínios de análise distintos, nomeadamente, pressão, frequência e tempo.

2.2.2. PRESSÃO

2.2.2.1. Variação da Pressão

A criação de ruído, ou som, é causada pela variação da pressão das ondas sonoras face a uma situação de referência, a pressão atmosférica normal (P_{at}), que é cerca de 101.400 Pa e é esta a pequena variação que o sistema auditivo consegue captar. A variação de pressão é propagada pela colisão das partículas umas contra as outras sucessivamente, mas sem o deslocamento permanente das mesmas [2].

Admitindo uma fonte sonora pontual, as alterações no ar são em função de pressão, temperatura e massa específica.

2.2.2.2. Celeridade

A velocidade de propagação das ondas sonoras, chamada de celeridade (c), no ar varia em função da temperatura, e pode ser descrita pela expressão 2.1. (válida para ar seco e ao nível do mar) [2].

$$c = 20,045\sqrt{T}, \text{ com } T(K) = 273,15 + \theta (^{\circ}C) \quad (2.1.)$$

Sendo,

- c – celeridade (m/s);
- T – temperatura, em graus Kelvin;
- θ – temperatura do ar ($^{\circ}C$).

2.2.2.3. Intensidade e Potência sonora

A análise da propagação sonora pode ser avaliada com base na intensidade e potência sonora, sendo que a intensidade sonora (I) pode ser descrita como a quantidade média de energia que atravessa por segundo uma área de 1 m^2 , numa dada direção. Pode ser traduzido como um campo vetorial perpendicular a essa direção e quantifica-se em W/m^2 , já a potência sonora (W) é uma característica que depende exclusivamente da fonte. Pode ser definida com a energia que atravessa, num segundo, uma esfera fictícia centrada na fonte e quantifica-se em W [2].

A intensidade sonora (I), a potência sonora (W) e a pressão sonora (p) estão interligadas entre si, e podem se relacionar da seguinte forma (expressão 2.2):

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (\text{W/m}^2) \quad (2.2.)$$

Sendo,

- I – intensidade sonora (W/m^2);
- W – potência sonora (W);
- r – distância (m);
- p – pressão sonora (Pa);
- ρ – massa volúmica (ar) $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$;
- c – celeridade (m/s) $\approx 340 \text{ m/s}$.

2.2.2.4. Nível de Pressão Sonora

O valor mínimo de variação de pressão que um ser humano jovem de audição normal consegue ouvir é de 10^{-5} Pa , denominado de Limiar de Audição, enquanto que o valor máximo a partir da qual a sensação auditiva passa de ruído a dor é de 100 Pa , denominado de Limiar da Dor. Assim a gama de audibilidade humana, no domínio da pressão, situa-se em 10^7 Pa (dos 10^{-5} até 100) [2].

O nível de pressão sonora (L_p) pode ser calculado pela fórmula 2.3.:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ ou } L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (\text{dB}) \quad (2.3.)$$

Sendo,

- L_p – nível de pressão sonora (dB);
- p – pressão sonora (Pa);
- p_0 – pressão sonora de referência, $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$.

No quotidiano aquilo que se ouve é um som “total” resultante da “soma” dos vários sons produzidos pelas diferentes fontes sonoras. O nível de pressão sonora resultante da produção de várias fontes pode se relacionar da seguinte forma (expressão 2.4):

$$L_{total} = 10 \log \sum_1^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.4.)$$

Sendo,

- L_{total} – nível de pressão sonora total (dB);
- L_i – nível de pressão sonora da fonte i (dB).

Para além de se obter o nível de pressão sonora tendo em conta a variação da pressão tendo como referência a pressão atmosférica, também é possível caracterizar o nível de pressão sonora tendo em conta a Intensidade (expressão 2.5.) e Potência Sonora (expressão 2.6).

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{dB}) \quad (2.5.)$$

$$L_W = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \quad (\text{dB}) \quad (2.6.)$$

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

2.2.2.5. Pressão Eficaz

A variação da pressão sonora apresenta variações temporais assinaláveis. Assim a variação de pressão é na maior parte dos casos determinada pela medição de valores eficazes. É essa a pressão eficaz (RMS – *Root Mean Square*) que é importante avaliar e é aquela que os sonómetros avaliam, a pressão eficaz pode-se traduzir pela seguinte fórmula (expressão 2.7) [2]:

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt \quad (2.7.)$$

Para os sons puros, som com uma componente única de frequência, a pressão eficaz está relacionada com a pressão máxima, como demonstra a seguinte formula (expressão 2.8):

$$p_{eficaz} = \frac{P_{máxima}}{\sqrt{2}} \approx 0,71 P_{máxima} \quad (2.8.)$$

2.2.2.6. Direccionalidade

As fontes sonoras não emitem a mesma energia em todas as direções, ou seja, não são omnidireccionais. O que implica que seja necessário medir a direccionalidade, os parâmetros utilizados para avaliar essa característica são:

- Coeficiente de direccionalidade (Q)

O Coeficiente de direccionalidade pode ser definido como a relação entre a intensidade acústica propagada numa dada direção (φ, ϕ) e a que na mesma direção propagaria uma fonte omnidireccional da mesma potência total.

O coeficiente de direccionalidade depende da localização da fonte sonora omnidireccional numa dada sala, assim podemos ter quatro situações [2]:

- Se a fonte omnidireccional for colocada no centro geométrico de uma sala, terá um Q de 1;
- Se ela for colocada junto de uma parede, de um teto ou de um pavimento o Q será de 2;
- Se for colocada num canto, a meia altura da parede, Q subirá para 4;
- Se for colocada num duplo canto, o Q será de 8.

- Índice de direccionalidade (G) em dB

O Índice de direccionalidade é em função do coeficiente de direccionalidade, calculado pela expressão 2.9 [2]:

$$G(\varphi, \phi) = 10 \log Q(\varphi, \phi) \quad (2.9.)$$

$$G(\varphi, \phi) = L_p(\varphi, \phi) - L_{pOMNI} \quad (2.10.)$$

2.2.3. FREQUÊNCIA

2.2.3.1. Tipos de Frequências

A seguir a pressão, a frequência é a segunda característica mais importante de análise, dado que, quase todos os sons contêm diferentes frequências. A frequência pode ser definida como a taxa de ocorrências de flutuações completas de pressão por segundo, ou seja, o número de ciclos completos por segundo [2].

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz}) \quad (2.11.)$$

Sendo,

f – frequência (Hz);

T – período (s).

Os seres humanos ouvem na gama entre os 20 Hz e os 20 kHz, sendo que os sons com frequência inferior a 20 Hz são designados por infra-sons e os sons com frequência superior aos 20 kHz designados de ultra-sons. Na gama audível pelos seres humanos, as frequências podem se dividir em [2]:

- Frequências graves: 20 a 355 Hz;
- Frequências médias: 355 a 1.410 Hz;
- Frequências agudas: 1.410 a 20.000 Hz.

2.2.3.2. Tipos de Som

Os sons podem se dividir em sons puros e sons complexos (ver a diferença na fig. 2.2). O som puro (simples) é aquele associado a uma componente única em termos de frequência, enquanto que o som complexo (composto) resulta da sobreposição de dois ou mais sons puros [2].

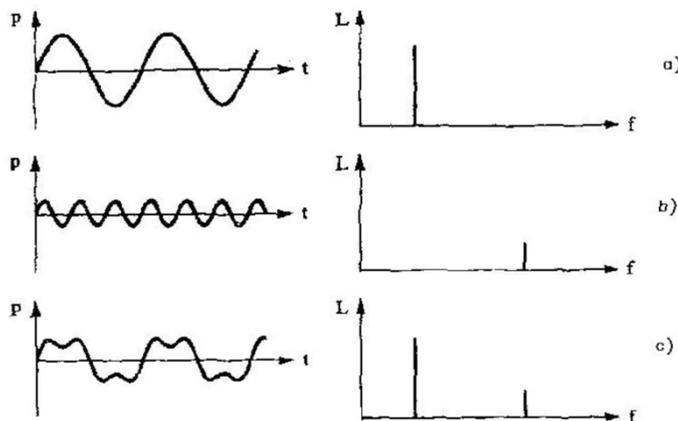


Fig. 2.2 – a) som puro de baixa frequência; b) som puro de alta frequência; c) som complexo, composição dos sons puros a) e b) [3].

2.2.3.3. Bandas de Frequências

Devido à existência de um elevado número de frequências, estas separam-se em agrupamentos de frequências denominados de bandas de frequências, que correspondem a intervalos de frequência de uma certa dimensão normalizados.

Existem bandas de frequência de diversas larguras, no entanto, as mais importantes de analisar são as de 1/1 oitava e 1/3 oitava.

Os intervalos de uma oitava normalizados, no domínio audível, são aqueles centrados em 16, 31, 63, 125, 250, 1k, 2k, 4k, 8k e 16k Hz, sendo que para a acústica de edifícios só se utilizam normalmente os intervalos de oitava dos 125 Hz aos 2k Hz (normas EN 140). Os intervalos de terço de oitava normalizados, no domínio audível, são aqueles centrados em 20, 25, 31, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 600, 630, 800, 1k, 1.250, 1.600, 2k, 2.500, 3.150, 4k, 5k, 6.300, 8k, 10k, 12.500, 16k e 20k Hz, sendo que para a acústica de edifícios só se utilizam normalmente os intervalos de terço de oitava dos 100 aos 3.150 Hz [2].

2.2.3.4. Curvas de Ponderação

O ouvido humano dá menor ou maior importância ao som conforme a frequência com que é emitido, apresenta uma sensibilidade auditiva variável em frequência, é muito mais sensível para as frequências na zona dos 2.300 Hz aos 2.800 Hz e muito pouco sensível para as frequências inferiores a 125 Hz. Para quantificar essa particularidade humana e a real e subjetiva sonoridade de um ruído é necessário corrigir a sensibilidade dos equipamentos de modo a que seja semelhante à do ouvido humano. Introduziram-se assim filtros eletrônicos nos aparelhos de modo a corrigirem os valores rastreados. As curvas que representam as correções feitas em função das frequências do som são denominadas de curvas de ponderação (Fig. 2.3), entre as quais os filtros A, B, C e D, atualmente, a mais usada é a curva (filtro) A. Na fig.2.3 é possível visualizar as diferenças de cada curva de ponderação [2].

O filtro A aproxima a resposta humana aos ruídos de baixa intensidade. Assim, o nível sonoro em dB (A) é a tradução da energia acústica de um ruído filtrado por uma curva de ponderação do tipo A.

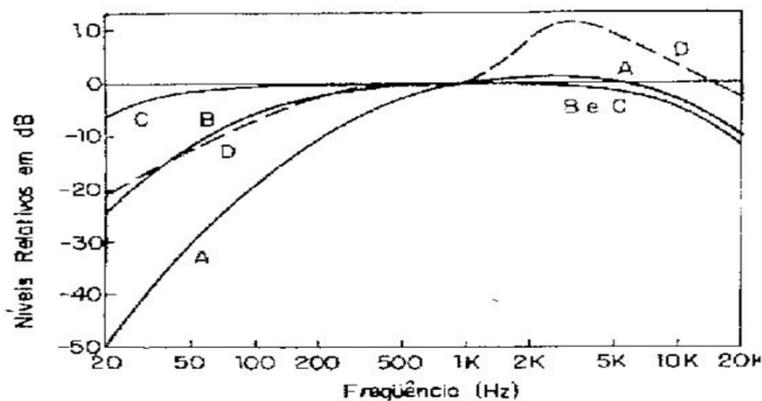


Fig. 2.3 – Explicação das diferentes curvas de ponderação (filtros) A, B, C, D [2].

No Quadro 2.1 estão representados os valores numéricos das ponderações do filtro A para as bandas de frequências de 1/1 e de 1/3 de oitava para a gama de frequências audível. Este quadro permite converter os valores de medições de dB para dB(A) (filtro A) e assim aproximar os ruídos à resposta humana.

Quadro 2.1 – Valores das numéricos das ponderações da curva A para a gama audível [2].

Banda de frequência (Hz)	Ponderação A para 1/3 oitava	Ponderação A para 1/1 oitava	Banda de frequência (Hz)	Ponderação A para 1/3 oitava	Ponderação A para 1/1 oitava
23	-44,7		800	-0,8	
31	-39,4	-40	1.000	0	0
40	-34,6		1.250	0,6	
50	-30,2		1.600	1,0	
63	-26,2	-26	2.000	1,2	+1
80	-22,5		2.500	1,3	
100	-19,1		3.150	1,2	
125	-16,1	-15,5	4.000	1,0	+1
160	-13,4		5.000	0,5	
200	-10,9		6.300	-0,1	
250	-8,6	-8,5	8000	-1,1	-1
315	-6,6		10.000	-2,5	
400	-4,8		12.500	-4,3	
500	-3,2	-3	16.000	-6,6	-7
630	-1,9		20.000	-9,3	

2.2.3.5. Comprimento de onda

Uma das características mais relevantes das ondas sonoras é o comprimento de onda. O comprimento de onda (λ) é a distância entre dois pontos idênticos consecutivos de uma onda periódica. O comprimento de onda pode ser definido como:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \text{ (m)} \quad (2.12.)$$

Sendo,

λ – comprimento de onda (m);

c – celeridade (velocidade de propagação das ondas sonoras no ar (m/s);

T – período (s);

f – frequência (Hz).

O comprimento de onda tem grande influência no comportamento das ondas sonoras em relação a obstáculos. Se o obstáculo é muito pequeno em relação ao comprimento de onda, este é inexistente para as ondas sonoras, no entanto se a dimensão do obstáculo for bastante superior à da onda sonora, cria-se uma zona de sombra na parte posterior do obstáculo, tal como acontece nas barreiras acústicas [2].

2.2.4. TEMPO

2.2.4.1. Análise no Tempo

Para além da análise da pressão e da frequência é importante analisar o fator tempo. Face à instabilidade temporal dos níveis de pressão sonora da maior parte dos ruídos é necessário quantificar o efeito desse ruído de uma forma global. Para analisar o fator tempo os parâmetros de medida mais comuns são o L_{eq} e o L_N [2].

2.2.4.2. Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente

O L_{eq} , o nível de pressão sonora contínuo equivalente, pode ser descrito com o nível de pressão sonora que, se atuasse constantemente num período de tempo, produziria a mesma quantidade de energia que o som que se pretende avaliar. O L_{eq} pode ser traduzido na seguinte expressão [2]:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2.13.)$$

Sendo,

- L_{eq} – nível de pressão sonora contínuo equivalente (dB);
- T – intervalo de tempo (min);
- $p(t)$ – pressão sonora (Pa);
- p_0 – pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa.

Relativamente ao L_{eq} também pode ser calculado o L_{Aeq} , que é o mesmo processo, no entanto os valores estão sujeitos à ponderação do filtro A.

2.2.4.3. Níveis de Pressão Sonora Estatísticos

Os níveis de pressão sonora estatísticos, L_N , correspondem ao nível de pressão sonora que, num dado intervalo de tempo, é excedido em N% da duração desse intervalo. O N está relacionado com os quantis de densidade de probabilidade [2]. Para esta dissertação os parâmetros usados são L_{10} , L_{50} e o L_{90} . Tal como acontece no nível de pressão sonora contínuo equivalente para os L_{10} , L_{50} e L_{90} também podem ser calculados os L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} , aplicando o filtro A. Além destes três níveis sonoros estatísticos é também interessante referir os níveis sonoros máximo e mínimo que correspondem aos máximos e mínimos valores obtidos numa medição.

2.3. ABSORÇÃO SONORA

2.3.1. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

A absorção sonora pode ser definida como a propriedade, que certos materiais possuem, em poderem transformar parte da energia sonora incidente em outro tipo de energia, nomeadamente, energia térmica. Para quantificar a absorção sonora de um dado material é calculado o coeficiente de absorção sonora (α) dado pela seguinte fórmula:

$$\alpha = \frac{E_{absorvida}}{E_{incidente}}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (2.14.)$$

Este coeficiente traduz a relação entre a energia absorvida por um dado material e aquela que sobre ele incide. O valor de α depende do ângulo de incidência e da frequência do som incidente. O coeficiente de absorção de um material pode tomar valores entre 0 e 1, sendo que um material com coeficiente 0 significa que absorve 0% do total de energia que sobre o material incide, enquanto que um material com coeficiente 1, absorve 100% da energia total. Geralmente considera-se que os materiais têm bom coeficiente de absorção a partir dos 0,5.

Para a determinação do coeficiente de absorção sonora são utilizados dois métodos normalizados, o método do tubo de ondas estacionárias (tubo de *Kundt*) e o método da câmara reverberante. Destes métodos anteriormente referenciados o mais eficiente é o método da câmara reverberante, uma vez que o método do tubo de ondas estacionárias só considera a incidência perpendicular das ondas [2].

2.3.2. MATERIAIS E SISTEMAS

Os materiais e sistemas de absorção sonora podem aglomerar-se em três categorias tendo em conta as suas características:

- Porosos e fibrosos (Texturados);
- Ressonadores;
- Membranas (Membranas Ressonantes).

De salientar que apesar destes três tipos de matérias terem uma função de absorção sonora eles atuam em diferentes gamas de frequências, sendo que os materiais porosos e fibrosos são mais eficazes em altas frequências, os ressoadores nas médias e as membranas nas baixas frequências.

Nos materiais porosos e fibrosos o mecanismo de absorção sonora é baseado na existência de poros e interstícios que quando as ondas sonoras incidem transferem uma percentagem da sua energia para as fibras que resistem pela fricção existente entre elas, transformando a energia em calor, sendo que a eficiência destes materiais está relacionada com a sua capacidade de dissiparem a energia pelos poros. Existem diversos tipos de materiais porosos e fibrosos com diferentes características físicas e aplicações como tecidos e alcatifas, massas porosas para projeção, aglomerados de fibras de madeira, fibras minerais (mantas e painéis, semi-rígidos e rígidos), materiais plásticos e aglomerados de cortiça.

Os ressoadores (também apelidados de ressoadores de cavidade ou ressoadores de Helmholtz) são sistemas com grande preponderância nas médias frequências. Um ressoador é formado por uma cavidade com uma única abertura estreita, chamado de gargalo. O ar existente no gargalo é colocado em vibração, entrando e saindo deste de um modo idêntico ao que acontece num sistema mecânico massa/mola. Para além destes tipos de ressoadores, ressoadores isolados, existem os ressoadores agrupados que consistem em painéis perfurados metálicos ou de madeira com a aplicação de uma caixa de ar na parte interna do ressoador.

As membranas (também apelidadas de membranas ressoantes ou painéis vibrantes) são formadas por painéis com uma grande área, mas de pequena espessura e a absorção das ondas sonoras é realizada pela vibração da sua estrutura, os painéis, e pela perda de calor por fricção nas fibras do material quando este entra no estado de flexão. A grau de eficácia deste sistema de absorção sonora será máximo quando absorve energia para a frequência natural de vibração [2].

2.4. CAMPO DIRETO E CAMPO REVERBERADO

Num dado compartimento, como as estações ferroviárias de São Bento e Espinho, quando uma fonte sonora emite um som, o nível de pressão sonora existente resulta da sobreposição de dois campos, o campo sonoro direto (originado pelas ondas sonoras diretas) e o campo sonoro reverberado (originado pelas ondas sonoras refletidas). As ondas sonoras diretas são aquelas que, primeiramente, chegam ao recetor, enquanto que, as ondas sonoras refletidas apresentam um atraso quando chegam ao recetor devido ao maior percurso provocado pelas suas reflexões nas superfícies do compartimento.

O campo direto decresce à medida que se aumenta a distância à fonte, pelo que se apresentar menor nível de pressão sonora pode ser mascarado pela existência de outros ruídos, como o ruído de fundo. O campo reverberado está relacionado com a absorção sonora do compartimento. A existência do campo reverberado pode aumentar o nível de pressão sonora por acréscimo do som refletido ao som direto. Em suma, num campo sonoro, dependendo da distância do recetor à fonte, em pequenas distâncias há a predominância de sons diretos, campo direto, numa maior distância há predominância de ondas refletidas, campo reverberado [2].

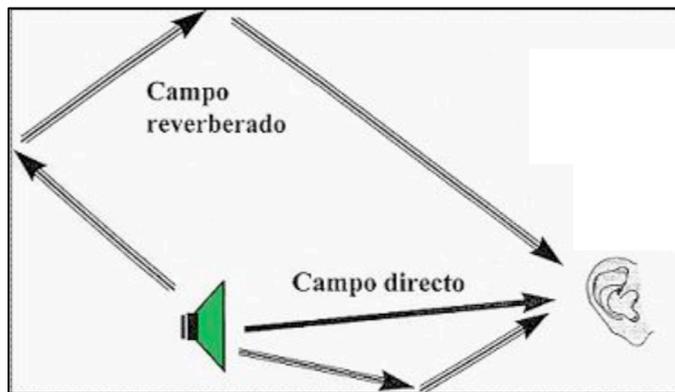


Fig. 2.4 – Representação esquemática do campo direto e reverberado (com os percursos possíveis realizados pelas ondas emitidas pela onda sonora, um caminho para o som direto e dois caminhos para o som refletido)

[Adaptado de [4]].

O nível de pressão sonora existente num compartimento devido à sobreposição dos dois campos, direto e reverberado, pode ser calculado pela seguinte expressão (expressão 2.15):

$$L_I = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi * r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (2.15.)$$

Sendo;

L_I – nível de intensidade sonora (dB);

L_w – nível de potência sonora na fonte (dB) (Expressão 2.6);

Q – coeficiente de direccionalidade na fonte (Ver 2.2.2.6);

r – distância entre a fonte sonora e o ouvinte (m);

R – constante relacionada com a absorção sonora do compartimento (m^2), dada por:

$$R = \frac{A}{(1 - \alpha_{médio})} \quad (2.16.)$$

Em que:

A – Absorção sonora equivalente (m^2);

α - coeficiente de absorção sonora do material, médio.

2.5. REFLEXÃO SONORA

2.5.1. DEFINIÇÃO

À medida que o som se propaga no exterior é influenciado por vários agentes, entre os quais, o vento e a temperatura. Para além disso a propagação do som também é influenciada pela presença de obstáculos. A reflexão é a mudança de direção da propagação das ondas sonoras quando incidem nos obstáculos (Fig. 2.5). Devido a isto podemos classificar os sons em sons diretos e sons refletidos, sendo os sons diretos aqueles que atingem diretamente o recetor sem haver reflexão, enquanto que os sons refletidos são aqueles que atingem o recetor depois de sofrerem uma ou várias reflexões [2].

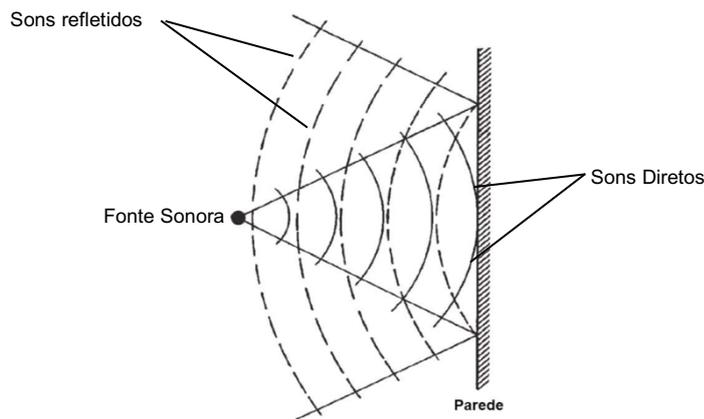


Fig. 2.5 – Reflexão das ondas sonoras quando incidem numa superfície plana [Adaptado de [5]].

As reflexões são, na maior parte dos casos, favoráveis para a criação de um local acusticamente agradável, contudo, em certos casos o seu contributo é o oposto, ou seja, cria um mau estar acústico em certos espaços.

2.5.2. Eco

O eco é a chegada de uma onda sonora refletida que é claramente percebida de forma individualizada pelo ouvido do ser humano, isto acontece quando o atraso temporal é superior a 50 ms. A deteção do eco está relacionada não só com o atraso da chegada face a onda direta, mas também à intensidade sonora do ruído envolvente. Este efeito é mais evidente em espaços fechados [2].

2.6. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O fenómeno da reverberação consiste na permanência do som num espaço fechado, como uma sala, após a fonte sonora deixar de emitir o estímulo sonoro. Como foi relatado nos subcapítulos anteriores, quando uma fonte sonora emite ondas sonoras sobre um compartimento, estas dividem-se em ondas diretas e ondas refletidas, as diretas atingem diretamente o recetor e as refletidas só após a sua reflexão nas superfícies do compartimento atingem o recetor. O tempo de reverberação pode ser definido como o intervalo de tempo, medido em segundos, que um som se demora a extinguir por completo, após sofrer variadas reflexões, ou de uma maneira geral, o tempo em que o nível de pressão sonora demora a descer 60 dB desde o fim de emissão por parte da fonte sonora [2].

Na maior parte das situações diárias o decaimento de 60 dB é quase impossível, dado que a partir de um certo valor mais baixo o ruído de fundo sobrepõe-se ao som emitido, daí que o mais usual seja o cálculo com base no decaimento de 20 dB (T_{20}) ou 30 dB (T_{30}), ver na figura 2.6.

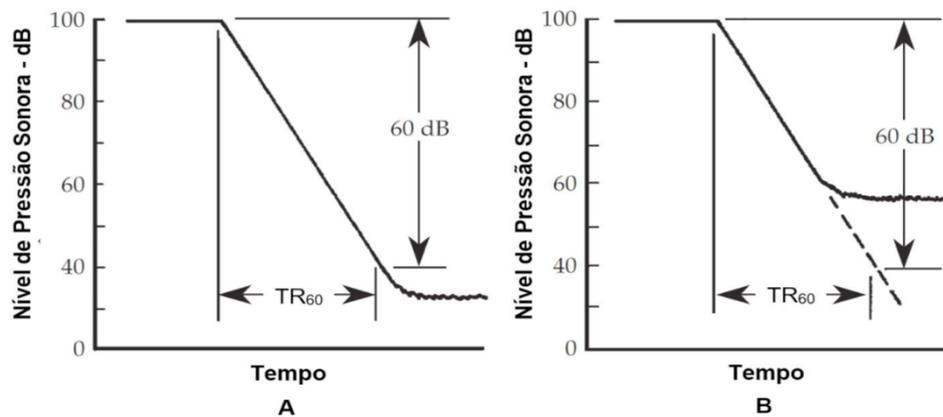


Fig. 2.6 – Curvas de decaimento do tempo de reverberação. Na situação A, o baixo ruído de fundo permite o decaimento de 60 dB. Na situação B, o ruído de fundo mais elevado não permite o decaimento de 60 dB, tendo que se utilizar o decaimento de 20 ou 30 dB, dependendo do caso [5].

A obtenção do tempo de reverberação de um espaço pode ser com base numa medição ou por determinação analítica. O cálculo do tempo de reverberação pode ser feito tendo em conta várias fórmulas, dependendo das situações que englobam esse cálculo.

a) Fórmula de Sabine

A fórmula de Sabine (expressão 2.17) permite o cálculo do tempo de reverberação para locais com ambientes sonoros difusos e com um coeficiente de absorção sonora médio ($\alpha_{\text{médio}}$) menor que 0,20.

$$T = \frac{0,16 * V}{A} \quad (2.17.)$$

Sendo:

- T – Tempo de reverberação (s);
- V – Volume do compartimento (m^3);
- A – Absorção sonora equivalente (m^2), em que:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i * S_i \quad (2.18.)$$

Sendo:

- α - coeficiente de absorção sonora do material;
- S – área da superfície do material (m^2).

b) Fórmula de Eyring

A fórmula de Eyring (expressão 2.19) é mais aconselhada para o cálculo do tempo de reverberação quando todas as superfícies da envolvente apresentam coeficientes de absorção semelhantes.

$$T = \frac{0,16 * V}{-S * \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (2.19.)$$

Sendo:

$$\bar{\alpha} = \frac{(\sum \alpha_i * S_i)}{\sum S_i} \quad (2.20.)$$

c) Fórmula de Millington-Sette

A fórmula de Millington-Sette (expressão 2.21) deve ser utilizada para obter o cálculo do tempo de reverberação quando existem diferenças significativas nos coeficientes de absorção sonora das diversas superfícies da envolvente:

$$T = \frac{0,16 * V}{-\sum_{i=1}^N S_i * \ln(1 - \alpha_i)} \quad (2.21.)$$

d) Fórmula de Sabine Generalizada

Pode ser definida como:

$$T = \frac{0,16 * V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i * S_i + \sum_{j=1}^M A_j + m * V} \quad (2.22.)$$

Sendo,

A_j – absorções sonoras localizadas (m^2);
 m – absorção sonora do ar (m^{-1}), em função da humidade relativa.

2.6. INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

2.6.1. DEFINIÇÃO

A inteligibilidade da palavra é uma característica acústica importante no que toca a estações ferroviárias e rodoviárias. Pode ser entendida como a maior ou menor facilidade que o ouvinte, o recetor, em entender a palavra proferida no espaço em que se encontram, nomeadamente avisos eletrónicos. Esta característica depende de vários fatores, como o nível de intensidade sonora, ruído ambiente, tempo de reverberação, distância do recetor ao sistema de difusão sonora, direccionalidade da emissão, duração de emissão e frequência.

No domínio da frequência, os sons utilizados nas palavras apresentam uma gama de frequências muito vasta, isto porque as consoantes e as vogais têm frequências muito diferentes, as vogais emitem em frequências baixas, enquanto que as consoantes emitem em frequências altas. Em relação ao nível de pressão sonora, a diferença entre a consoante (som menos intenso) e a vogal (som mais intenso) é de cerca de 28 dB. Em termos de duração, as vogais são emitidas em média com uma duração de 90 ms enquanto que as consoantes são de 20 ms. No que toca à direccionalidade, as baixas frequências não têm grande variabilidade em relação à direção enquanto que, as altas frequências têm alguma variabilidade direccional [2].

2.6.2. PARÂMETROS OBJETIVOS

Existem dois grupos de parâmetros de medida da inteligibilidade da palavra, os objetivos e os subjetivos. Enquanto que os subjetivos se baseiam na intervenção subjetiva humana para a sua determinação, os objetivos não. Entre os parâmetros objetivos podemos distinguir o AI, o AC, o SIL, o STI e o RASTI.

A AC (*Articulation Class*) tem um método de cálculo (expressão 2.23) com base na diferença entre o nível de conversação de referência e o ruído de fundo (ruído ambiente) no local, sendo que o valor resultante é multiplicado pelo peso que a atribuído para a gama de frequências entre dos 200 Hz aos 500 Hz, por bandas de 1/3 de oitava, os valores que permitem o cálculo deste parâmetro podem ser observados no Quadro 2.2 [2].

$$AC = \sum_{i=1}^{15} \Delta L_i \cdot \text{peso}_i \quad (2.23.)$$

Quadro 2.2 – Valores para a realização do método de obtenção do parâmetro de inteligibilidade da palavra AC [2].

Freq. (Hz)	Nível de Conversação (nc)	Peso (p)	Freq. (Hz)	Nível de Conversação (nc)	Peso (p)
200	67	4	1250	62	30
250	68	10	1600	60	37
315	69	10	2000	59	37
400	70	14	2500	57	34
500	68	14	3150	55	34
630	66	20	4000	53	24
800	65	20	5000	51	20
1000	64	24			

O SIL (*speech interference level*) é um parâmetro objetivo da inteligibilidade da palavra e calcula-se com base na média aritmética dos níveis de pressão sonora dos ruídos de fundo para as bandas de oitava dos 500 aos 2000 Hz (expressão 2.24) [2].

$$SIL (dB) = \frac{RF_{500Hz} + RF_{1k Hz} + RF_{2k Hz}}{3} \quad (2.24.)$$

O Quadro 2.3 demonstra os valores do SIL (em dB) para o qual a comunicação é, no limite, possível.

Quadro 2.3 – Valores do SIL (em dB) para os quais a comunicação da palavra é possível [2].

Distância (m)	SIL (dB)							
	Esforço de Voz							
	Normal		Elevado		Muito Alto		Gritando	
	M	F	M	F	M	F	M	F
0,3	68	63	74	69	80	75	86	81
1,0	58	53	64	59	70	65	76	71
2,0	52	47	58	53	64	59	70	65
3,0	48	43	54	49	60	55	66	61
4,0	46	41	52	47	58	53	64	59

M – Masculino; F – Feminino

O STI (*speech transmission index*) baseia-se na diminuição da modulação de um sinal sonoro de experiência emitido por uma fonte sonora, contendo as gamas de frequência e flutuações de nível de intensidade da voz humana que vai ser captado por um microfone recetor situado nos diversos lugares. Essa diminuição de modulação será a função de modulação de transferência emissor-recetor que é convertida para a taxa de inteligibilidade, a taxa de inteligibilidade varia entre 0 (nula inteligibilidade) e 1 (ótima inteligibilidade). Este método tem em conta o ruído de fundo e o tempo de reverberação.

O RASTI (*rapid speech transmission index*) é um método simplificado de calcular o STI, é usado para comparar a qualidade da transmissão sonora dentro de um recinto variando a posição do recetor ou para comparar a inteligibilidade da palavra noutros recintos [2].

2.7. RÚIDO AMBIENTE

Tal como foi referido anteriormente a diferença entre som e ruído está relacionado com o facto de o som ser o que tem significado para o auditor e o ruído o que não tem significado para o auditor. Neste caso, ruído ambiente é o conjunto de todos os sons ou ruídos existentes no locais quando não existe circulação pelo material ferroviário e rodoviário (com exceção da estação de São Bento) nem pelo sistema de difusão de mensagem sonora, sendo que para este tipo de ruído estão relacionados o ruído produzido pela circulação de veículos não afetos às estações em estudos, ruído afeto às escadas rolantes, ruído produzido pelo sinal sonoro, ruído produzido pela circulação de utentes, etc. Este tipo de ruído condiciona as medições, dado que muitas vezes suplanta os valores que seriam observados numa medição sem contabilizar este ruído. Na estação de São Bento, devido à permanência constante do material ferroviário na estação, o ruído ambiente, apenas e só para este caso, contabiliza o ruído produzido por estes.

2.8. ATENUAÇÃO POR DIVERGÊNCIA GEOMÉTRICA

Quando a fonte sonora se situa ao ar livre, o efeito que se deve ter em consideração é a atenuação por divergência geométrica. Este tipo de atenuação tem interferência na propagação das ondas sonoras no exterior. A forma como a fonte sonora emite o som, permite classificar as fontes sonoras em dois tipos: fonte pontual e fonte linear. Uma fonte pontual é aquela em que a origem do som situa-se num único ponto do espaço e propaga-se de uma forma esférica. Uma fonte linear é aquela em que a origem se desenvolve ao longo de um segmento linear e propaga-se sob a forma de um cilindro [2].

O nível de pressão sonora (L_p) numa fonte pontual, depende do nível de pressão sonora da fonte (L_w) e da distância entre a fonte e o recetor, conforme está demonstrado na expressão 2.25:

$$L_p \approx L_I = L_w - (20 \log r + 11,0) \quad (2.25.)$$

O nível de pressão sonora (L_p) numa fonte linear, está dependente dos mesmos fatores como se tratasse de uma fonte pontual, no entanto a expressão (expressão 2.26) é diferente:

$$L_p \approx L_I = L_w - (20 \log r + 8,0) \quad (2.26.)$$

A parcela que é subtraída em ambas as expressões é a atenuação por divergência geométrica. A diferença entre as duas fórmulas está relacionada com a diferente área de propagação das ondas, uma esfera no caso da fonte pontual e um cilindro no caso da fonte linear.

Se as ondas sonoras se situarem junto do solo, a propagação das ondas sonoras é diferente se fosse no ar, sendo que, neste caso a área a considerar é metade. As fórmulas anteriores sofrem pequenas alterações, numa fonte pontual em vez de “11,0” passa para “8,0” (expressão 2.27) e numa fonte linear em vez de “8,0” passa para “5,0” (expressão 2.28):

$$L_p \approx L_I = L_w - (20 \log r + 8,0) \quad (2.27.)$$

$$L_p \approx L_I = L_w - (20 \log r + 5,0) \quad (2.28.)$$

Estes tipos de fonte estão relacionados com o movimento dos veículos nas estações, fonte pontual se estiver parado na estação, fonte linear quando um comboio circula sem parar numa estação ferroviária.

3

ACÚSTICA DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS E RODOVIÁRIAS

3.1. FERROVIA

3.1.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

3.1.1.1. Evolução do Material Circulante

O tráfego ferroviário caracteriza-se pelo transporte de pessoas e/ou bens, entre locais geograficamente distantes, efetuado com recurso a um comboio, locomotiva, automotora ou outro tipo de veículo semelhante. O comboio consiste na ligação entre si de uma ou várias carruagens (ou vagões, se for de mercadorias) que se movimentam pelos carris sendo puxados por uma locomotiva [6].

Após inúmeras tentativas de criação de uma locomotiva autónoma durante os séculos XVII e XVIII, só em Inglaterra, em 1808 e após a Revolução Industrial, que Richard Trevithick propôs um modelo de uma locomotiva a vapor [7]. No entanto, só passados alguns anos, é que, George Stephenson, conclui a primeira locomotiva a vapor (Fig. 3.1), com capacidade de realizar a circulação. George Stephenson foi igualmente responsável pela construção da primeira linha férrea entre Stockton e Darlington, em Inglaterra, em Setembro de 1825 [8].

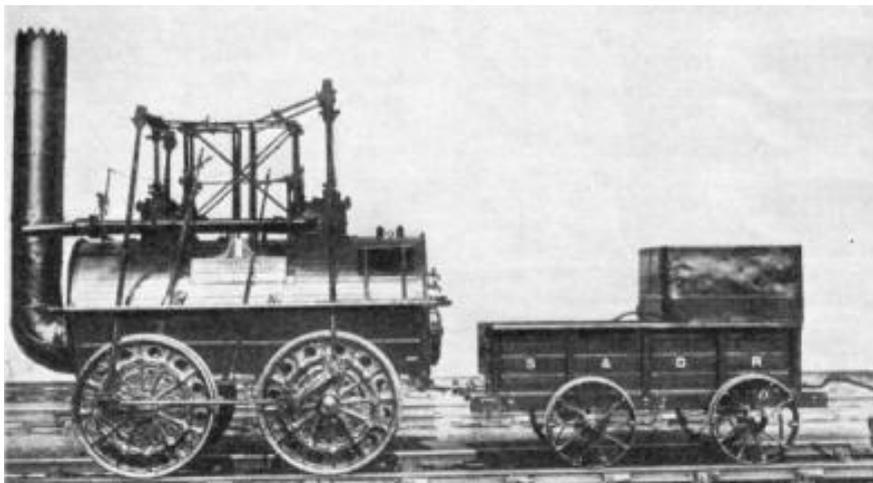


Fig. 3.1 – Locomotiva a vapor desenvolvida por George Stephenson [9].

No início do século XIX, ocorrem alterações que permitiram dinamizar a locomotiva a vapor, nomeadamente, a colocação de rodas motrizes atrás da caldeira a vapor permitindo aumentar o diâmetro das mesmas e por consequente aumentar a velocidade de ponta. As alterações impostas por James Watt, nos meados do século XIX, tiveram uma grande importância no desenvolvimento dos caminhos de ferro, o que permitiu que, por todo o mundo, existissem nesse século milhares de quilómetros de linhas ferroviárias.

Em 1879, final do século XIX, Werner Von Siemens apresentou na Exposição Mundial de Berlim, a primeira locomotiva elétrica, contudo, só em 1890 se deu o seu grande desenvolvimento, até aos dias de hoje. Sendo que as locomotivas existentes até este momento, locomotivas a vapor, foram assim substituídas por locomotivas elétricas.

No final do século XIX, Rudolf Diesel inventou o motor de injeção a diesel e novas locomotivas foram desenvolvidas com base neste sistema. Foram também criadas locomotivas que utilizam um sistema de motor a diesel ligado a um gerador de corrente elétrica, utilizando assim os conceitos descobertos nessa altura. Apesar do sistema criado por Diesel ter uma grande importância inicialmente, o facto de ser um método muito dispendioso, fez com que as locomotivas a diesel se tornassem em desuso, em virtude do menor custo das locomotivas elétricas.

Não só as locomotivas sofreram alterações, mas também as carruagens variaram ao longo dos anos, quer no seu aspeto quer no seu conforto. Enquanto que as primeiras carruagens eram sobretudo em madeira, as que circulam atualmente são, na sua maior parte, metálicas, dispondo de várias alternativas tendo em conta o comprimento, tipo de assentos, número de pisos, luxo, localização dos rolamentos no chassis e outras imposições técnicas que permitam mais velocidade e conforto e menos balanço.

O comboio foi evoluindo cada vez mais, deixando de se utilizar locomotivas que transportavam carruagens e passar a utilizar automotoras, ou seja, carruagens de passageiros com locomoção própria, a diesel ou a eletricidade.

Mais recentemente, foram desenvolvidas locomotivas que funcionam a gás (locomotivas com turbinas a gás), até que surgiram os comboios de alta velocidade (Fig. 3.2) com um número reduzido de carruagens, no entanto, atingem grandes velocidades e diminuí o tempo de viagem.



Fig. 3.2 – TGV (Trains à Grande Vitesse), modelo de comboio de alta velocidade, atualmente utilizado na Europa [10].

3.1.1.2. Evolução da Ferrovia em Portugal

As primeiras indicações da existência do tráfego ferroviário em Portugal, data de 19 de Dezembro de 1844, quando é criada a Companhia das Obras Públicas de Portugal, com o intuito de realizar estudos para a implantação dos caminhos de ferro em Portugal [11].

Passado pouco mais de uma década, no dia 28 de Outubro de 1856, foi inaugurada a primeira linha ferroviária em Portugal que ligava Lisboa, estação de Santa Apolónia, ao Carregado com recurso a uma locomotiva a vapor. A viagem de inauguração foi realizada sem a presença da família real, dado que o rei D. Pedro V chegou atrasado à viagem [12].

Após a inauguração, seguiram-se anos de desenvolvimento da rede ferroviária até à década de 1890, que devido à crise financeira de 1891 ocorreu um abrandamento deste desenvolvimento. Com a ocorrência da 1ª e 2ª Guerra Mundial e da Grande Depressão e consequente aumento do preço do carvão, matéria-prima para as locomotivas, houve uma estagnação do desenvolvimento dos caminhos de ferro em Portugal aliado ao desenvolvimento dos meios de transporte rodoviário, como o carro e autocarro, e mais tarde o aéreo, como o avião.

Após os anos 50, do século XX, ocorreu a modernização dos caminhos de ferro e mudou a forma como o transporte ferroviário era visto, passou a ser um meio de transporte essencialmente para a deslocação de passageiros e de mercadorias para longas distâncias.

O período após a entrada de Portugal na CEE (Comunidade Económica Europeia), em 1986, é marcado por retrocessos e avanços no desenvolvimento dos caminhos férreos. Após uns primeiros anos, até ao início da última década, marcado por greves da CP (Comboios de Portugal) e pelos fechos de linhas, há, após acordos com o governo (mais no final do século XX), a ampliação e modernização das grandes estações nas zonas metropolitanas de Lisboa e Porto, a eletrificação de várias linhas importantes e a construção de importantes infraestruturas, como a Ponte de S. João e a Gare do Oriente. Foram também introduzidas novas séries de material circulante como novas locomotivas e automotoras, como o Alfa Pendular [11].

Atualmente, a empresa que gere os transportes ferroviários, Infraestruturas de Portugal (IP), gere uma rede de 928 estações, entre as quais, 474 têm serviço de passageiros e/ou mercadorias, 2 179 km de rede ferroviária e dispões de uma frota de 236 automotoras e 22 locomotivas para o transporte de passageiros [13].



Fig. 3.3 – Comboio Alfa Pendular, pertencente à frota disponível das Infraestruturas de Portugal [14].

3.1.2. PRODUÇÃO DE RUIDO FERROVIÁRIO

O ruído produzido pelos comboios é muito variável, dado que está dependente dos vários tipos de material circulante existente, nomeadamente, tipos de comboios de passageiros (comboios suburbanos, inter-regionais, alfa pendulares e intercitys), tipos de comboios de mercadorias e locomotivas a diesel, bem como comboios de alta velocidade e elétricos, estes, no entanto não existem no sistema ferroviário de Portugal.

O ruído proveniente dos veículos ferroviários pode ser dividido em três grupos, dependendo da fonte sonora (Fig. 3.4) [2]:

- Ruído de tração (ruído proveniente do motor, dos sistemas de ventilação e da transmissão), predominante até aos 40 km/h;
- Ruído da interação roda/carril, motivado pelas imperfeições existente na relação entre a roda do material ferroviário e o carril (ruído devido ao rolamento), predominante entre os 40 e 250 km/h, valores aproximados;
- Ruído aerodinâmico (resultante da passagem do material circulante em contacto com o ar que gera turbulência), predominante a partir dos 240 a 270 km/h.

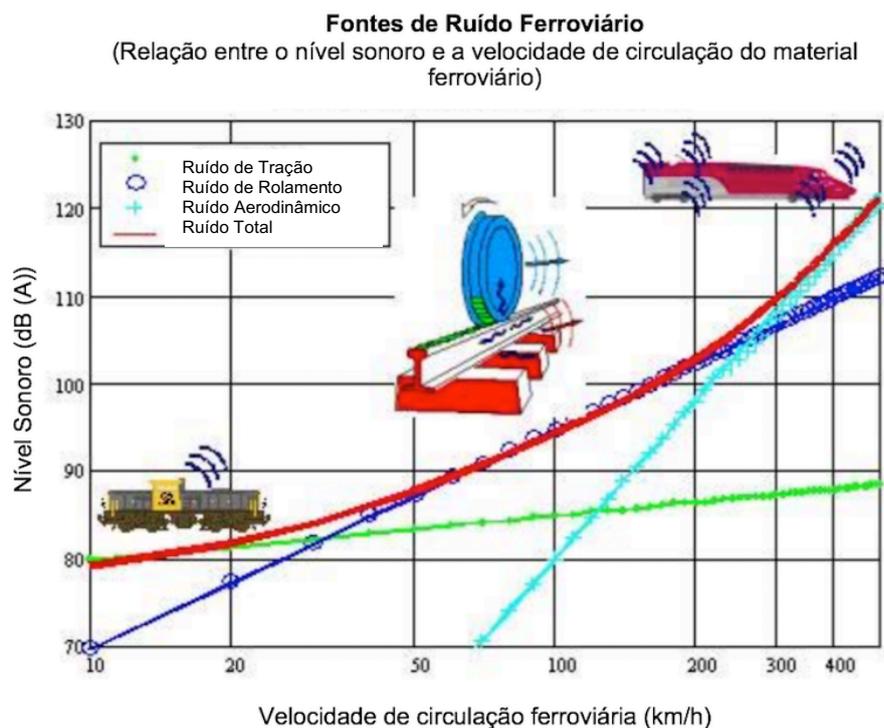


Fig. 3.4 – Fontes de ruído ferroviário [adaptado de [15]].

Com base na Fig. 3.4 pode se constatar que os ruídos avaliados nesta dissertação, como o caso do ruído de chegada, ruído de partida e ruído da chegada à partida englobam-se no ruído produzido pela tração, devido a menor velocidade de circulação. O ruído de passagem de comboios ou locomotivas, sem paragem na estação, pode ser englobado no ruído produzido pelos rolamentos e aerodinâmico, uma combinação dos dois, devido à velocidade de circulação ser entre os 50 e 200 km/h [2].

3.1.3. MODELAÇÃO DO RUIDO FERROVIÁRIO

O ruído provocado pelo tráfego ferroviário levou a que fosse necessário quantificar o nível de ruído a que os utentes desse meio de transporte possam estar expostos e, se possível, diminuir o seu efeito nos habitantes. Apesar de a origem do ruído e as características do material circulante ferroviário serem muito semelhantes, inicialmente, em alguns países da Europa, foram criados métodos de previsão do ruído proveniente do tráfego ferroviário, como:

- Alemanha – *Schall 03*;
- Áustria – *Önorm S5011/ÖAL28*;
- Dinamarca – *Beregning af støj fra jernbaner*;
- França – *NMPB-FER*;
- Holanda – *RMR 96/SEM II*;
- Noruega – *NMT Norwegian Trains*;
- Suécia – *NMT Swedish Trains*;
- Suíça – *Semibel*;
- Reino Unido – *Asdown*;
- Reino Unido – *Department of Transport*.

Destes, existem alguns modelos com maior preponderância que outros, dado que geraram um maior consenso relativo à sua qualidade na modelação do ruído existente, nomeadamente, o Schall 03 (modelo alemão), NMPB-FER (modelo francês), o RMR 96/SRM II (modelo holandês) e o NMT (utilizado nos países nórdicos).

a) *Schall 03*

Este modelo baseia-se num valor fixo de ruído de 51 dB(A) para todos os eventos de ruído, posteriormente são realizadas correções acústicas para os comboios com base na velocidade do mesmo, tipo de travões do comboio e propriedades da estrutura. Por fim fazem-se correções no mecanismo de correção de propagação do som e parâmetros com o nível de pressão sonora e ângulo entre a direção de comboio e propagação do som.

b) *NMPB-FER*

Este modelo assume dois casos, o caso favorável de propagação e o caso de condições atmosféricas homogêneas para a propagação de ruído. Posteriormente o cálculo do resultado é elaborado juntando os dois casos e usando uma percentagem de frequência de ocorrência. O resultado obtido é o L_{Aeq} (nível sonoro contínuo equivalente). Neste método são consideradas duas alturas distintas, uma altura de 80 cm para as baixas frequências (125, 250 e 500 Hz) e uma altura de 5cm acima do plano de rolamento para as frequências de 1k, 2k e 4k Hz.

c) *RMR 96/SRM II*

Este modelo prevê com descrição a relação entre o nível de pressão sonora e o ruído emitido pela fonte. É um modelo que atua em bandas de oitava dos 63 aos 8k Hz. Os parâmetros mais importantes a considerar são o número de comboios diários no período noturno e diurno, assim como a velocidade de

passagem dos comboios. Este método prevê nove categorias diferentes tendo em conta o tipo de material circulante, daí a sua possível aplicação em outros países da Europa.

d) NMT

Este modelo foi criado com base na cooperação dos países nórdicos. Apesar de serem considerados o material circulante da Noruega, Finlândia e Suécia, só na Noruega e Suécia é que se criaram versões deste modelo. Este método mede o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) em bandas de oitava. O sistema requer parâmetros de entrada como a categoria do comboio e a sua condição de operação. O método de cálculo fornece valores em bandas de 1/3 de oitava dos 25 aos 10k Hz [16].

No dia 19 de Maio de 2015 a União Europeia estabelece métodos comuns de avaliação do ruído para todos os países da Europa de modo a utilizarem o mesmo método de modelação do ruído. O Modelo Unificado da UE estabelece métodos da modelação para os diferentes tipos de ruído de tráfego, no entanto para este caso, é importante ressaltar apenas o que engloba a ferrovia. Este método tem em consideração o tipo de material ferroviário e o tipo de via. Tem em consideração duas fontes sonoras equivalentes, uma a 0,5 m e outra a 4,0 m. Para além dos três tipos de ruído enunciados no subcapítulo 3.1.2 também considera o ruído proveniente do impacto na zona de cruzamentos, agulhas e junções e o ruído do chiar do comboio [17].

3.1.4. ESTUDOS REALIZADOS

3.1.4.1. Cidade de Ijuí, Rio Grande do Sul (Brasil)

Um estudo realizado na cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul, no Brasil intitulado “*Noise caused by rail transport in the urban segment: study of the case of Ijuí – RS City*” avaliou o ruído provocado por um comboio de mercadorias [18].

Na cidade onde foi realizado o estudo, as linhas ferroviárias apenas se destinam para o transporte de mercadorias, sendo a principal causa do desenvolvimento local. A medição do ruído produzido pelo comboio baseou-se na norma NBR 10151. Esta norma estabelece que as medições sejam realizadas em pontos afastados de 1,2 metros da fonte sonora e a 2 m das superfícies refletoras.

Na realização deste estudo, os locais de medição situam-se a distâncias de 15, 30 e 45m da fonte sonora. O objeto de estudo foi uma locomotiva G12 e um vagão tipo hopper, aquando da sua passagem em dois locais da cidade (Local A e Local B), já o parâmetro de medição foi o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) [18]. Apesar de nesta dissertação ter sido avaliado o ruído proveniente nos comboios em estações, como nas estações de General Torres, Espinho e, por vezes, em Devesas os comboios de mercadorias não efetuam paragem na estação acaba por ser uma situação à referente neste estudo, no entanto, nesta dissertação também é contemplado o efeito dos comboios de passageiros. Contudo as distâncias medidas nos casos de estudo desta tese de mestrado são cerca de 1,5 e 2 m distâncias muito inferiores àquelas realizadas neste estudo, ou seja, maior atenuação por divergência geométrica na situação estudada em Ijuí, em Rio Grande do Sul.

No Quadro 3.1 podem ser observados os resultados obtidos para a medição do nível de sonoro contínuo equivalente para a passagem do comboio em função da distância de medição.

Quadro 3.1 – Valores dos resultados obtidos para a medição do ruído produzido pelo comboio de mercadorias na cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul (Brasil) [Adaptado de [18]].

Distância (m)	Ruído produzido pela passagem do comboio de mercadorias (dB(A))		Média dB(A)
	Local A	Local B	
15	93,7	92,7	93,2
30	88,6	88,8	88,7
45	86,8	85,7	86,3

Face aos resultados apresentados, foi calculada a média logarítmica, pelo autor desta dissertação, para o nível sonoro de passagem do comboio de mercadorias para as duas medições em função da distância de modo a ser possível comparar os resultados com aqueles apresentados nesta dissertação.

No Quadro 3.2 podem ser visualizados os resultados dos ensaios do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído ambiente dos locais estudados. De referir que a média apresentada foi calculada pelos autores do estudo. Já a média total foi calculada, pelo autor desta dissertação, com base na média logarítmica, para, tal como aconteceu para o ruído de passagem, se comparar o valor médio destes dois pontos com os valores médios existentes nas estações ferroviárias e rodoviárias.

Quadro 3.2 – Valores dos resultados obtidos para a medição do ruído ambiente na cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul (Brasil) [Adaptado de [18]].

Distância (m)	Ruído Ambiente (dB(A))	
	Local A	Local B
15	67,1	63,7
30	64,5	70,0
45	67,9	71,0
Média	66,5	68,2
Média Total	67,4	

As conclusões que este estudo permite tirar são que, a medida que se afasta da fonte sonora o ruído avaliado diminui, no entanto não o faz de uma forma homogênea devido as atenuações existentes. Face aos resultados obtidos para o ruído da circulação do comboio de mercadorias constata-se que os valores são superiores aos permitidos pela Norma NBR 10151, que estabelece um valor máximo de nível sonoro equivalente de 60 dB para o tipo de zona de estudo [18].

3.1.4.2. Malásia

Na Malásia com o intuito de verificar se os níveis sonoros produzidos pelos comboios cumpriam a legislação lá em vigor, foi realizado um estudo do ruído ferroviário em várias estações ferroviárias, nomeadamente, as estações das cidades de Kluang, Segamat, Gemas e Kuala Lumpur (Capital) com base no diferente tipo de material circulante. Para a obtenção dos dados necessários à avaliação do ruído usou-se o SLM (*Sound Level Meter*) do tipo ISO-TECH SLM 1352N (tipo de instrumento de medição).

Este método consiste na avaliação do ruído em dois locais. Um primeiro local próximo das linhas ferroviárias e um segundo junto do local de uma possível existência de barreira acústica [19].

No Quadro 3.3 estão expostos os valores do nível sonoro máximo e mínimo do ruído existente nas estações alvo deste estudo. O nível sonoro mínimo foi avaliado quando não existia comboios na estação (ruído ambiente), enquanto que no nível sonoro máximo os comboios exerciam a sua marcha. Posteriormente foi calculada a diferença entre os níveis sonoros máximos e mínimo. Estes níveis sonoros e a diferença entre eles permite tirar conclusões face aos valores apresentados nesta dissertação.

Quadro 3.3 - Nível sonoro máximo e mínimo do ruído existente diversas estações da Malásia [19].

Nível Sonoro	Local			
	Kluang (dB(A))	Segamat (dB(A))	Gemas (dB(A))	Kuala Lumpur (dB(A))
Mínimo	53,1	46,4	43,2	57,9
Máximo	89,6	85,4	93,9	90,4
ΔL	36,5	39,0	50,7	32,5

As estações de Kluang, Segamat e Gemas são estações à superfície, semelhantes às estações de Campanhã, General Torres e Devesas, enquanto que a estação de Kuala Lumpur é uma estação fechada, um pouco como a estação de São Bento, mas sem as aberturas laterais, não é uma estação no subsolo como a de Espinho.

No Quadro 3.4 podem ser visualizados os valores dos diferentes níveis sonoros contínuos equivalentes referentes aos tipos de comboios e medidos junto das linhas ferroviárias e os valores máximos permitidos pela lei estabelecida pelo Departamento Ambiental do *Ministry of Natural Resources and Environment of Malaysia*. Com base nos resultados verifica-se que estes são superiores aos valores permitidos [19].

Quadro 3.4 - Níveis sonoros contínuos equivalentes produzidos pelos diferentes tipos de comboios da frota de material ferroviário da Malásia [19].

Tipos de Comboios	Comboio de Mercadorias	Locomotiva a Diesel	KTM Komuter	Eletric Train Services (ETS)
Nível Sonoro (dB(A))	93,9	93,9	79,9	72,2
Nível Sonoro permitido (dB(A))	65	65	70	70
Diferença	28,9	28,9	9,9	2,2

No Quadro 3.5 podem ser observados os valores de nível sonoro produzido por um comboio do tipo KTM Komuter (equivalente a um comboio suburbano) em função da distância ao recetor. Com base nos resultados demonstrados é possível verificar que à medida que se aumenta a distância o nível sonoro diminui (maior atenuação por divergência geométrica a distâncias maiores).

Quadro 3.5 – Nível sonoro por distância ao recetor [19].

Distância	1 m	5 m	10 m	15 m
Nível sonoro dB(A)	93,9	93,9	77,8	57,9
Nível sonoro permitido dB(A)	60	60	60	60

As conclusões que se podem tirar deste estudo são: A estação de Kuala Lumpur apresenta maior ruído ambiente, devido ao maior tempo de reverberação. Enquanto que a estação com maior nível sonoro para a existência de comboios na estação é a de Gemas, devido à maior proximidade à fonte sonora [19].

Relativamente ao ruído produzido pelos diferentes tipos de comboio, aqueles que foram objeto de estudo, não cumprem o nível sonoro máximo permitido, apesar de a diferença mais próxima ser de 2,2 dB(A) para um comboio elétrico, a diferença de um comboio de mercadorias é quase 30 dB.

3.1.5. MEDIDAS PARA O RUÍDO FERROVIÁRIO

De acordo com os relatórios elaborados pela Agência Europeia do Ambiente (EEA), em 2018 (também contempla dados relativos a 2017), 19 milhões de habitantes da EEA-33 (grupo de países pertencentes à Agência Europeia do Ambiente) eram afetados por um L_{den} (indicador de ruído diurno-entardecer-diurno) superior a 55 dB, enquanto que 14 milhões eram afetados durante o período noturno, L_n (indicador de ruído noturno) superior a 50 dB [20].

O ruído ferroviário é devido, na maior parte, aos comboios de transporte de mercadorias e comboios com vagões e motores antigos, pelo que constitui um grande problema durante o período noturno, onde o transporte de mercadorias é mais intenso.

Para reduzir este problema a União Europeia propôs algumas medidas, entre as quais:

- “O material circulante introduzido a partir do ano de 2000 (incluindo motores e carruagens ou locomotivas de passageiros) é obrigado a reduzir as emissões de ruído em 10 dB(A) em relação ao equipamento das décadas de 1960 e 1970” de acordo com as Normas Técnicas de Interoperabilidade atuais (denominada de ETI ruído);
- Modificadores de fricção, amortecedores de carris, vias de lajes flutuantes e implantação de barreiras acústicas com várias alturas dependendo do fim a que se pretende.
- Adaptação do material circulante de modo a reduzir o ruído na fonte;
- Tarifação das vias férreas em função do ruído, de modo a incentivar o uso de novas tecnologias de material circulante com baixo ruído, promover o uso de rotas que proporcionem a não

circulação sobre pontos críticos de ruído, ou então, rotas alternativas com baixa velocidade e consequente redução do ruído [21].

Em Dezembro de 2005, a União Europeia (UE) criou o *Technical Specifications of Interoperability* (TSI) que visa aprovar limites de nível sonoros máximos para o material circulante novo ou renovado, como pode ser observado no quadro seguinte (Quadro 3.6) [16]:

Quadro 3. 6 – Valores limites máximos de ruído para os diferentes tipos de material circulante de acordo com o TSI [16].

Tipo de material circundante	Valor limite máximo (dB(A))
Novos vagões de mercadorias a 80 km/h	82 – 85 dB(A) dependendo do número de eixos por comprimento;
Vagões de mercadorias renovados a 80 km/h	84 – 87 dB(A) dependendo do número de eixos por comprimento;
Comboios de passageiros a 80 km/h	80 dB(A)
Locomotivas a 80 km/h	85 dB(A)
Ruído estacionário de locomotivas	75 dB(A)
Ruído estacionário de unidades múltiplas elétricas	68 dB(A)
Ruído estacionário de unidades múltiplas a diesel	73 dB(A)
Ruído estacionário para comboios de alta velocidade	65 dB(A) continuamente ou 70 dB(A) intermitentemente
Níveis de ruído em serviços de alta velocidade	87 dB(A) a 250 km/h, 91 dB(A) a 300 km/h e 92 dB(A) a 320 km/h a 25 m de distância e uma altura de 3,5 m

Em 2014, e após a elaboração do TSI, a União Europeia como entidade que zela pelo bem-estar dos cidadãos propôs um regulamento relativo “à especificação técnica de interoperabilidade para o subsistema circulante”. Este regulamento, N.º 1304/2014 estabelece limites para o ruído produzido por diferentes tipos de comboio quando estes se encontram parados na estação, quando iniciam o arranque e quando efetuam passagem na estação [22].

No Quadro 3.7 estão expostos os valores limite para o nível sonoro equivalente em função da unidade ($L_{Aeq,T}$) e para o nível sonoro equivalente numa posição mais próxima do compressor principal ($L^i_{Aeq,T}$) do ruído do material ferroviário em situação de paragem (valores diferentes devido à maior proximidade à fonte sonora no segundo parâmetro medido, relativa a posição do local de medição). O local de medição situa-se a 7,5 m do eixo da via e a 1,2 m acima do plano de rolamento (acima da linha ferroviária) [22].

Quadro 3.7 – Valores máximos de ruído de paragem por tipo de material ferroviário [22].

Tipo de Material Circulante	L_{Aeq,T} (dB)	Lⁱ_{Aeq,T} (dB)
Locomotivas elétricas e OTM com tração elétrica	70	75
Locomotivas a diesel e OTM com tração diesel	71	78
UME	65	68
UMD	72	76
Carruagens	64	68
Vagões	65	Não Tem

No Quadro 3.8 podem ser visualizados os valores limite para o nível sonoro equivalente tendo em conta dois casos de velocidade de circulação, um primeiro caso, com uma velocidade de circulação de 80 km/h e um segundo caso, com uma velocidade de circulação de 250 km/h. Os valores foram medidos a uma distância de 7,5 m do eixo da via e a 1,2 m acima do plano de rolamento (acima da linha ferroviária)[22].

Quadro 3.8 – Valores máximos para o ruído de passagem, em função da velocidade, por tipo de material ferroviário [22].

Tipo de material circulante	L_{Aeq,Tp} (80 km/h) (dB)	L_{Aeq,Tp} (250 km/h) (dB)
Locomotivas elétricas e OTM com tração elétrica	84	99
Locomotivas a diesel e OTM com tração diesel	85	Não Tem
UME	80	95
UMD	81	96
Carruagens	79	Não Tem
Vagões (Normalizados para EPC = 0,225)	83	Não Tem

Existem projetos europeus, como o *Silent Freight* e *Silent Track*, em que o seu principal objetivo é a redução sonora pela conjugação de diferentes tipos de tratamento nas rodas e nos carris. No quadro 3.9 pode-se visualizar a atenuação sonora, em dB(A) para a conjugação dos diversos tipos de tratamento [2].

Quadro 3.9 – Atenuações de ruído com base nos projetos europeus *Silent Freight* e *Silent Track* [2].

Atenuação Sonora dB(A)	Redução do ruído nos carris	Rodas perfuradas com abafadores	Rodas otimizadas com escudos	Rodas otimizadas com equipamento absorvente em frequência
Redução de ruído nos rodados	-	4	8	7
Apoios mais rígidos	2	2	3	3
Carris correntes + equipamento absorvente	6	6	7	7
Apoios mais rígidos + equipamento absorvente	5	4	5	6
Novos carris	3	2	4	4
Novos carris + equipamento absorvente	7	6	8	8

Além das medidas impostas pela União Europeia para a redução do ruído emitido pelo tráfego ferroviário, existem outras medidas, com base em estudos, que visam a diminuição de ruído tendo em conta a fonte e o recetor. As medidas de mitigação do ruído tendo em conta alterações na fonte sonora, podem passar pelo isolamento do ruído do motor (isolamento do compartimento) e pela seleção de equipamentos mais silenciosos, isto na redução do ruído de tração. A redução do ruído aerodinâmico na fonte passa por simplificação da cobertura dos *bogies*, evitar a existência de cavidades ao longo do comprimento do material ferroviário e a simplificação e isolamento da zona envolvente do pantógrafo [16].

A redução do ruído no recetor passa pela adaptação do meio envolvente face ao ruído produzido pela circulação dos comboios, como a implementação de barreiras acústicas ou a instalação de novas fachadas, sendo o primeiro caso de aplicação mais fácil (intervenção nos locais de habitação da população) e da alteração dos constituintes do comboio. No Quadro 3.10 está exposta algumas medidas de possível redução do nível sonoro ferroviário.

Quadro 3.10 – Medidas de redução do ruído do ponto de vista do recetor [Adaptado de [16]].

Método de redução do Ruído	Atenuações de ruído (dB)	Local	Benefícios/Dificuldades
Adaptação aos cepos K	8 a 10	Comboio	É necessário adaptação e a correção das imperfeições nas rodas e nos carris
Adaptação dos cepos LL	8 a 10	Comboio	É necessário adaptação e a correção das imperfeições nas rodas e nos carris
Amortecedores na roda	1 a 3	Comboio	Existem dificuldades na manutenção das rodas
Amortecedores na via	1 a 3	Linha	Depende das condições dos locais e apresenta dificuldades na manutenção da via
Barreiras Acústicas	5 a 15	Envolvente	Fácil degradação e posterior diminuição ou anulação do seu efeito
Isolamento da fachada	10 a 30	Envolvente	Efeito só alcançado no interior das habitações

3.2. RODOVIA

3.2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O autocarro é um veículo a motor terrestre que é usado para o transporte de passageiros [23]. O avanço da tecnologia permitiu a existência de vários tipos de autocarros, variando no número de pisos, número de assentos para passageiros e a fonte de energia que permite a locomoção do autocarro.

O conceito de autocarro como transporte público surgiu em Nantes, em França, no ano de 1826, quando Stanislav Baudry decidiu estabelecer o transporte entre o centro da cidade e as instalações de banhos públicos existentes na sua propriedade em Richebourg, em Pas-de-Calais. O aparecimento da primeira linha de transportes públicos, tendo por base o recurso ao autocarro, surgiu em Nova Iorque, que ligava Nova Iorque e Haarlem, nos Estados Unidos da América [24].

A primeira linha de transporte público com recurso a autocarros surgiu em Portugal, mais propriamente na cidade do Porto, no período de 1832 a 1872. Esta linha utilizava veículos de tração a vapor. Em 1895 surgia a primeira linha da Península Ibérica explorada por carros elétricos. Em 1948 é inaugurada no Porto a primeira linha de autocarros da cidade [25].

Chegado o ano de 1946 inicia-se uma nova era nos transportes públicos. É criada a STCP (Serviço de Transportes Coletivos do Porto), liderado pela Câmara Municipal do Porto.



Fig. 3.5 – Primeiro autocarro para transporte público da empresa STCP [26].

3.2.2. PRODUÇÃO DE RÚIDO RODOVIÁRIO

A proveniência produção de ruído rodoviário depende do tipo de fonte sonora e da velocidade de circulação do mesmo, ou seja, dependendo se é um veículo pesado ou veículo ligeiro a origem de produção de ruído é diferente. Isto facto esta relacionado com a diferente constituição e tamanho de ambos os veículos [2].

As principais fontes de ruído nos veículos rodoviários são a exaustão de motor e entrada de ar (contempla o ruído de motor), interação pneus-estrada e ruído aerodinâmico (mais relevante em veículos pesados). Como foi referido anteriormente a origem do ruído rodoviário está relacionado com o tipo de veículo

(tamanho, peso, etc.), o seu estado (diferentes condições face ao estado do veículo) e tipo de movimento (velocidade, aceleração e tipo de piso) [2].

No quadro seguinte, tendo em conta apenas o objeto de estudo desta dissertação, podem ser observados o tipo de origem, em função da velocidade, do ruído rodoviário dos veículos pesados.

Quadro 3.11 – Origem do ruído rodoviário nos veículos pesados.[2]

Veículos Pesados	
Origem	Velocidade (km/h)
Sistema de Propulsão (motor e equipamentos)	< 50
Interação pneus/estrado	60 a 90
Aerodinâmico	> 90

3.2.3. MODELAÇÃO DO RUIDO RODOVIÁRIO

Em Maio de 2015 a União Europeia estabeleceu um método único de cálculo do ruído rodoviário, tal como aconteceu para o ruído ferroviário, o Modelo Unificado da UE. Este modelo, para o cálculo do ruído ferroviário, devido estes meios em categorias em função do tipo de veículo rodoviário (pesado, ligeiro ou motorizado). Tem em conta o fluxo de tráfego por tipo de categoria e considera o ruído de rolamento (pela interação pneu-estrada) e o ruído de propulsão (gerado pelo grupo motopropulsor, ou seja, motor, escape, etc.). De realçar o facto de considerar os efeitos devidos ao tipo de piso e declive da estrada [17].

3.2.4. ESTUDOS REALIZADOS

3.2.4.1. Toronto

Foi realizado um estudo na cidade de Toronto, no Canadá, sobre o ruído produzido pelos diferentes meios de transporte pertencentes ao sistema *Toronto Mass Transit* (metro, autocarro e elétrico) medido no interior dos mesmos e nas plataformas (estações). Para efeitos de comparação só se irá considerar o ruído afeto aos autocarros [27].

As medições foram realizadas em dias da semana, num período de tempo entre a 07:00 horas da manhã e as 19:00 da tarde (engloba períodos de maior e menor tráfego rodoviário e de passageiros). Os intervalos de tempo das medições foram de 2 minutos, correspondendo ao tempo de chegada ou partida dos veículos da estação. Foram realizadas um total de vinte e cinco medições que obtiveram os seguintes valores médios (para o nível sonoro equivalente e nível sonoro máximo) [27]:

Quadro 3.12 – Níveis sonoros do ruído produzido pelo autocarro em duas situações diferentes [16].

Local	Plataformas		Interior do Veículo	
	L _{Aeq} (dB)	L _{Amax} (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{Amax} (dB)
Valor médio	79,7	120,4	76,3	103,6

Face aos dados apresentados é possível verificar que, como seria de esperar, no interior dos veículos o nível de ruído a que os utentes se encontram expostos é inferior aquele se estivessem no exterior, na estação, uma diferença de 3,4 dB. Esta diferença induz que, o nível sonoro no exterior é muito semelhante à soma de dois níveis sonoros no interior (a soma de dois níveis de pressão sonora de igual valor é igual ao nível de pressão sonora mais três, o valor apresentado de 3,4 dB é semelhante a esta soma).

3.2.4.2. Uberlândia, Minas Gerais (Brasil)

No congresso *Inter-noise* de 2005, realizado no Rio de Janeiro, no Brasil, foi apresentado um estudo onde são apresentados resultados do ruído produzido pelos autocarros nas estações rodoviárias do município da Uberlândia, em Minas Gerais. Foram analisadas cinco estações rodoviárias: Central, Planalto, Umuarama, Industrial e Sta. Luzia [28].

Devido ao facto de as plataformas, mais propriamente o corredor, não apresentarem o mesmo formato, foi tomada a decisão de o local de medição se situar a 2,5 metros do centro das plataformas. As medições do nível sonoro foram realizadas em cinco dias no período de maior tráfego (hora de ponta). Os intervalos de tempo de cada medição foram de aproximadamente 15 segundos, em que a velocidade de circulação dos veículos era inferior a 20 km/h. Os resultados obtidos para os cinco terminais de autocarro foram [28]:

Quadro 3.13 – Nível sonoro do ruído de circulação existente nas estações rodoviárias de Uberlândia, no Brasil [28].

Estações	L _{Aeq} (dB)
Central	80,0
Planalto	72,1
Umuarama	76,0
Industrial	73,3
Sta. Luzia	77,6

Face aos dados obtidos e tendo em conta a norma NBR 10151 pode ser constatar que os valores apresentados excedem o limite imposto por essa legislação. A norma NBR 10151 estabelece condições para a avaliação do ruído, entre os quais, valores máximos de nível sonoro contínuo equivalente tendo em conta os tipos de locais onde se realizam as medições, Quadro 3.14.

Tendo em conta os valores impostos pela norma e o facto de não haver qualquer indicação no estudo para o tipo de zona em que se encontram as estações, mesmo para a pior situação que é de 70 dB no período noturno, os valores médios existentes nas estações deste município são superiores ao da norma NBR 10151.

Quadro 3.14 – Valores máximos do nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, presentes na norma NBR 10151 [17].

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

4

CASOS DE ESTUDO

4.1. ESTAÇÕES ANALISADAS

4.1.1. OS SETE CASOS DE ESTUDO

Para a realização desta dissertação foi proposto inicialmente que os ensaios para a caracterização acústica fossem efetuados em quatro estações ferroviárias, a de Campanhã (Porto), de São Bento (Porto), de General Torres (Vila Nova de Gaia) e de Devesas (Vila Nova de Gaia) e em duas estações rodoviárias, da Casa da Música (Porto) e do Parque das Camélias (Batalha, no Porto). Mais tarde, foi proposto a análise da estação de Espinho, que como se trata de uma estação subterrânea, seria interessante comparar os valores obtidos com as restantes estações devido à diferente morfologia que apresentam (as restantes estações são acima do subsolo).

Relativamente à morfologia das estações, a estação de General Torres e de Campanhã são estações semelhantes, ambas as estações só apresentam pórticos sobre as plataformas que servem de base aos passageiros, apesar de a estação de Campanhã ter junto de uma das linhas (linha 1) o edifício de suporte a essa estação, as medições foram realizadas nas linhas mais exteriores pelo que o efeito desse edifício (reflexão das ondas sonoras) não é relevante na realização das medições. A estação de Devesas apresenta um pórtico sobre a plataforma semelhante às duas estações anteriores, mas em tamanho reduzido, e no lado oposto, um edifício que serve de suporte à estação, dado que neste caso o seu efeito é considerado. Além disso possui na sua constituição um parque de estacionamento de comboios, principalmente de mercadorias, em que o seu acesso é pela linha mais exterior da estação. A estação de São Bento apresenta uma morfologia semelhante a um edifício, com paredes de suporte nos quatro lados, mas com aberturas significativas, quer nas zonas laterais quer na zona frontal da estação. Na zona posterior desta situam-se os túneis de circulação dos comboios e locomotivas. A estação de Espinho, como foi referenciado anteriormente, é uma estação subterrânea semelhante a estações de metro, o que tem especial importância devido ao efeito do tempo de reverberação existente com devido às sucessivas reflexões de ondas sonoras nas superfícies da estação. Relativamente às estações rodoviárias, a estação da Casa da Música é como se tratasse de uma zona pública de circulação de passageiros e veículos que apenas detém uma cobertura de suporte, com pequenas paragens sinalizadas apenas por um sinal informativo. A estação do Parque das Camélias é um espaço exterior de circulação de veículos desde a parte interior até à via pública, apenas detém umas pequenas paragens para servir de suporte aos utentes. Relativamente a tratamentos acústicos, só a estação de Espinho apresenta um projeto acústico (devido à existência de sucessivas reflexões nas paredes e pela consequente influência no tempo de reverberação), enquanto que as restantes estações, não há qualquer indício de existência de um.

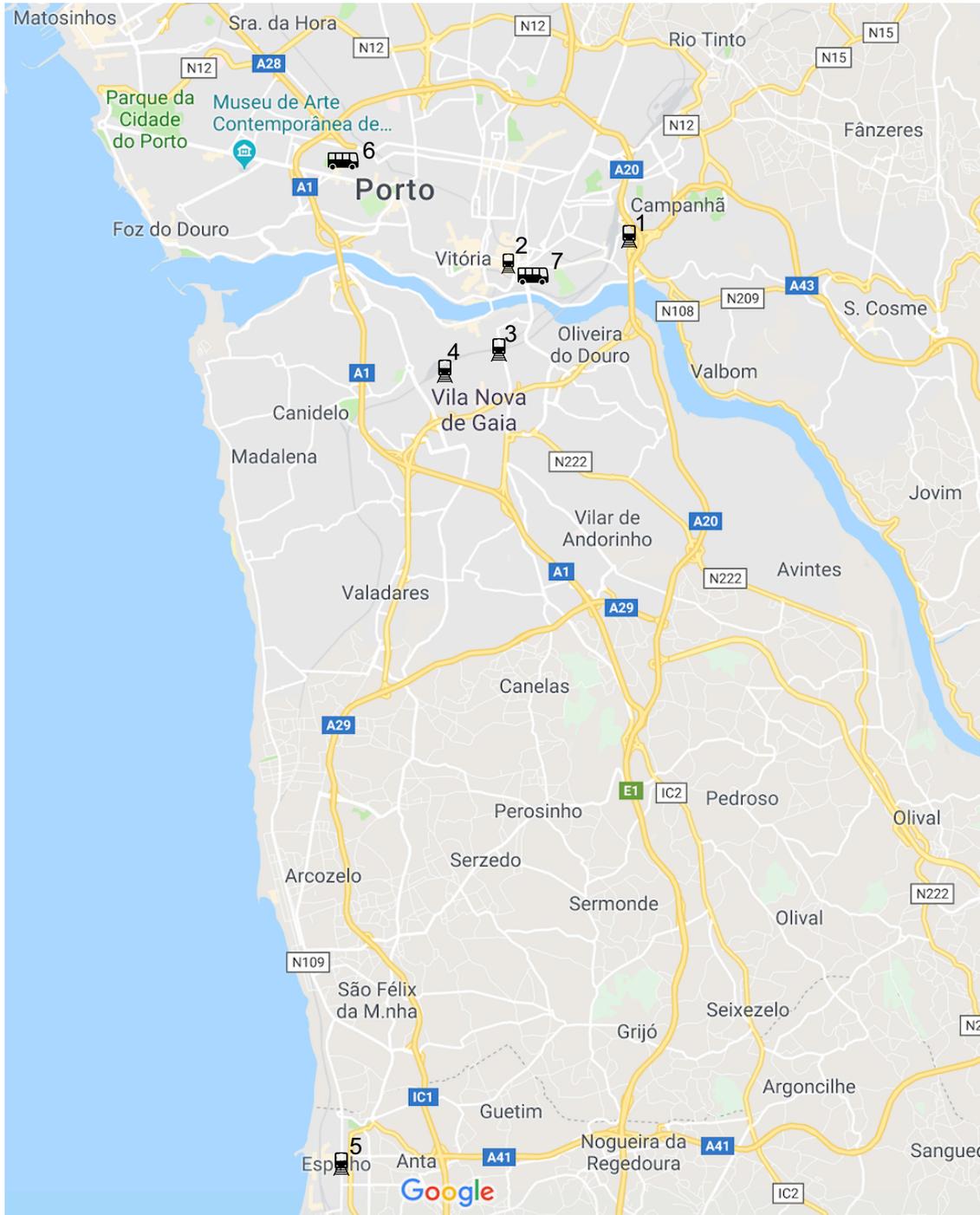


Fig. 4.1 – Mapa das estações ferroviárias e rodoviárias avaliadas e devidamente sinalizadas. (1 – Estação de Campanhã, 2 – Estação de São Bento, 3 – Estação de General Torres, 4 – Estação de Devesas, 5 – Estação de Espinho, 6 – Estação da Casa da Música, 7 – Estação do Parque das Camélias) [29].

Legenda:  - Estações Ferroviárias
 - Estações Rodoviárias

4.1.2. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE CAMPANHÃ - FC

A estação de Campanhã (Fig. 4.2) foi inaugurada a 21 de Maio de 1875 e é a principal estação ferroviária existente no Norte do país. Situa-se na freguesia de Campanhã, no Largo da Estação, no concelho do Porto (Fig. 4.4), a poucos metros da VCI (Via da Cintura Interna) [30].

Esta estação é constituída por pórticos de betão armado na maior parte das linhas (Fig. 4.3), com exceção das linhas situadas na zona próxima do metro do Porto e da linha um. Esta última encontra-se sob o edifício que serve de suporte á estação, na qual se encontra a sala de espera. Da frota de comboios pertencentes à Infraestrutura de Portugal, circulam nesta estação os comboios inter-regionais, suburbanos, alfa pendulares, intercity e de mercadorias e as locomotivas. Salvo raras as exceções todos os comboios realizam paragem nesta estação.



Fig. 4.2 – Entrada principal da estação ferroviária de Campanhã.[Foto do Autor].



Fig. 4.3 – Interior (a céu aberto) da estação ferroviária de Campanhã.[Foto do Autor]

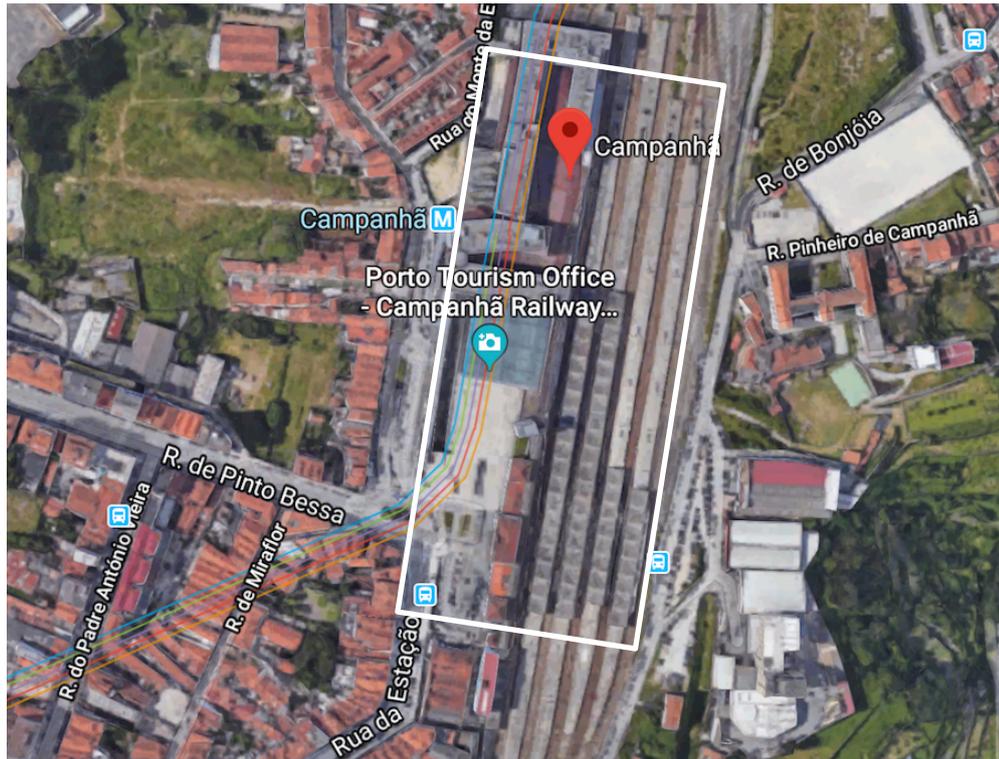


Fig. 4.4 – Localização da estação ferroviária de Campanhã (área da estação sinalizada na imagem) [29].

A estação de Campanhã funciona como estação nas linhas do Minho, do Douro, de Braga, de Guimarães, de Caíde/Marco de Canaveses, de Aveiro e do Norte e Internacional. Funciona como interface aos serviços de metro, de autocarros e de táxi [30].

4.1.3. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE SÃO BENTO - FSB

A estação de São Bento (Fig. 4.5) entrou em serviço, de forma provisória, no dia 8 de Novembro de 1896 e foi inaugurada no dia 5 de Outubro de 1916. Situa-se na Praça Almeida Garrett, no concelho do Porto, em pleno centro histórico da cidade (Fig. 4.7) [31].



Fig. 4.5 – Fachada principal da estação ferroviária de São Bento [foto do Autor]



Fig. 4.6 – Interior da estação ferroviária de São Bento. [foto do Autor]

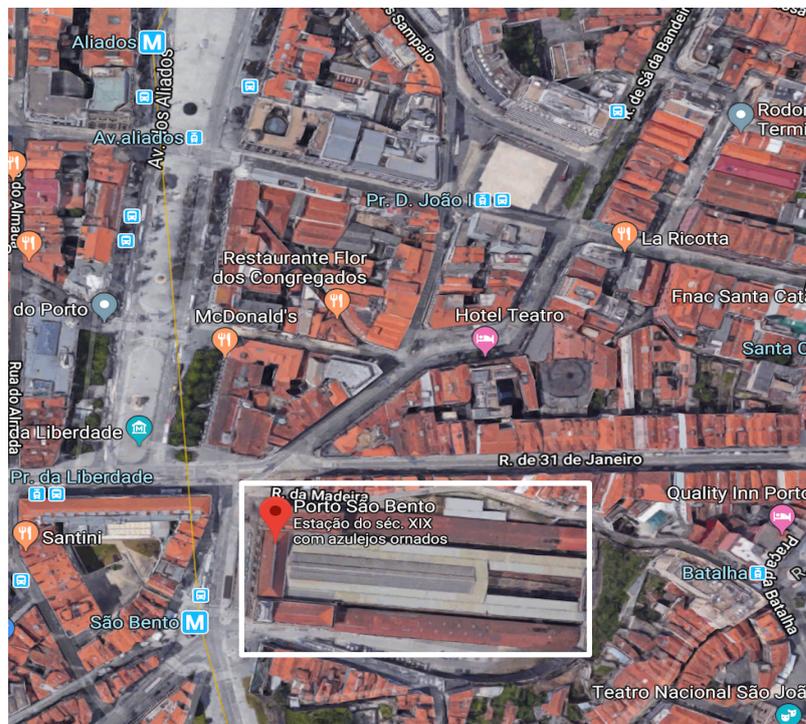


Fig. 4.7 – Localização da estação de São Bento (sinalizada na imagem) [29].

A estação funciona dentro de um edifício, sendo que a zona onde circulam os comboios detém aberturas nas zonas superiores laterais e uma abertura na zona frontal que serve de acesso dos utentes à estação em si. A sala de espera situa-se perto da zona de circulação dos comboios e passageiros (Fig. 4.6). Nesta estação só circulam comboios inter-regionais e suburbanos para as linhas do Minho, do Douro, de Braga, de Guimarães, Caíde/Marco de Canaveses e de Aveiro. Esta estação é uma estação terminal, pelo que os comboios terminam sempre a sua marcha quando se deslocam para esta estação. Funciona como interface para os serviços de autocarro, metro e táxi [31].

4.1.4. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE GENERAL TORRES (VILA NOVA DE GAIA) – FGT

A estação de General Torres (Fig. 4.8), outrora apelidada de Apeadeiro da Rua do General Torres, foi inaugurada a 5 de Novembro de 1877, através da ligação das estações de Campanhã e de Vila Nova de Gaia. Situa-se na Rua General Torres, em Vila Nova de Gaia (Fig. 4.10) [32].



Fig. 4.8 – Entrada superior da estação ferroviária de General Torres, com ligação à Avenida da República, em Vila Nova de Gaia [foto do Autor].

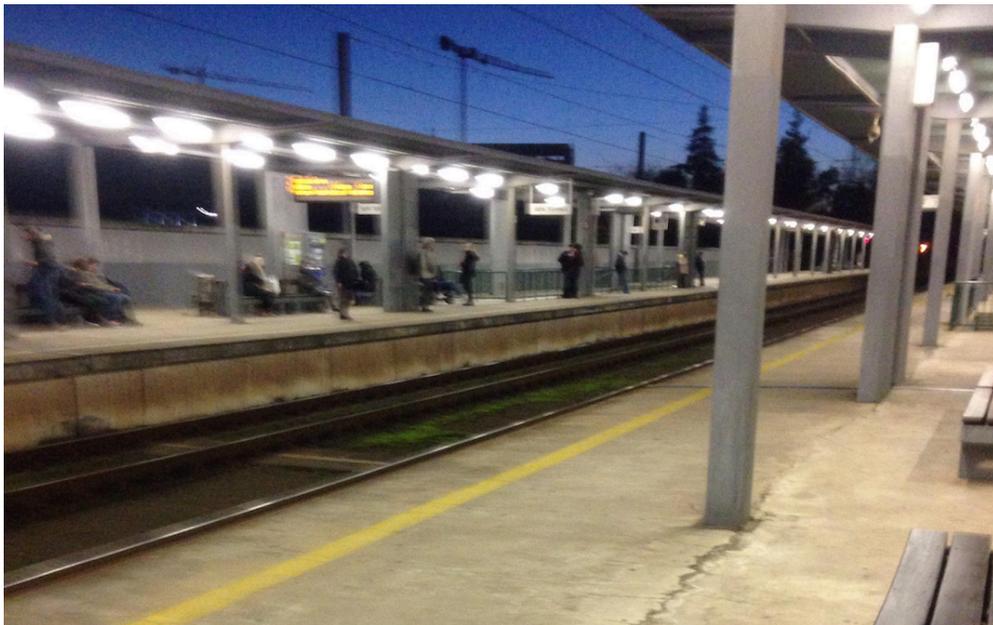


Fig. 4.9 – Interior da estação ferroviária de General Torres (Vila Nova de Gaia).[foto do Autor].

Formada por quatro linhas de circulação, sendo que só duas se encontram em funcionamento, com o apoio de pórticos de betão armado que servem de suporte aos passageiros (Fig. 4.9). Nesta estação de comboios, circulam comboios suburbanos, alfa pendulares, intercidades e de mercadorias, sendo que só o primeiro tipo evidenciado faz paragem nesta estação, os restantes circulam sem parar. Pertence às linhas de Aveiro e do Norte e serve de interface para o metro e autocarros [32].

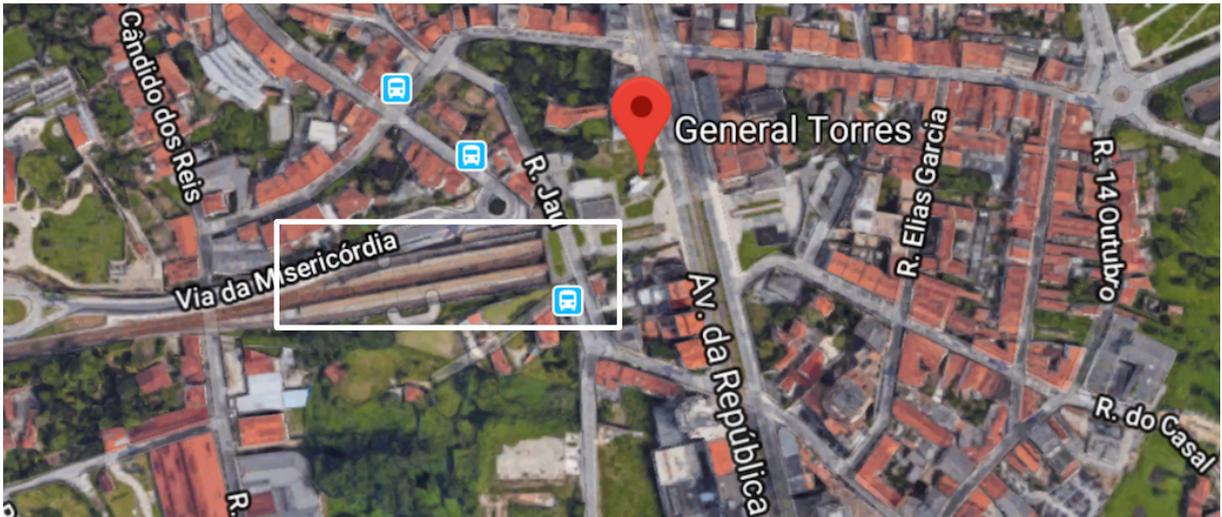


Fig. 4.10 – Localização da estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia (sinalizada na imagem) [29].

4.1.5. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DAS DEVESAS (VILA NOVA DE GAIA) – FD

A estação das Devesas (Fig. 4.11) foi inaugurada no dia 8 de Junho de 1863, no entanto só foram estabelecidas as ligações a Lisboa e a Campanhã nos anos de 1864 e 1877, respetivamente. Situa-se no Largo 5 de Outubro, em Vila Nova de Gaia (Fig. 4.13) [33].



Fig. 4.11 – Entrada principal da estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.[foto do Autor]

A estação das Devesas é constituída por duas linhas principais de circulação e uma linha exterior para o acesso dos comboios ao parque de estacionamento para os mesmos na zona lateral da estação (Fig. 4.12). Para o suporte fornecido às linhas é utilizada um pórtico semelhante aos referenciados anteriormente, mas de menor dimensão e de outro material de fabrico e por um edifício auxiliar, onde se encontra a sala de espera. Os comboios que circulam nesta estação, relativamente à frota de comboios da IP (Infraestruturas de Portugal), são os suburbanos, alfa pendulares, intercity e de mercadorias e todos à exceção de alguns de mercadorias efetuam paragem nesta estação. Os comboios de passageiros que

circulam nesta estação pertencem à linha de Aveiro e do Norte. Funciona como interface para o serviço de autocarros e de táxi [33].

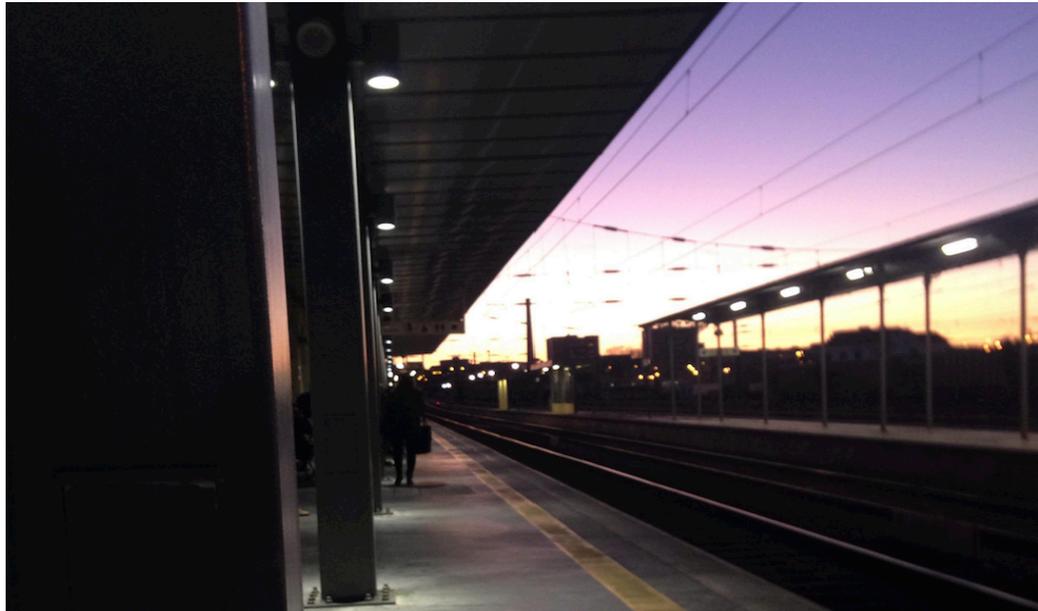


Fig. 4.12 – Interior da estação ferroviária das Devesas (Vila Nova de Gaia).[foto do Autor]

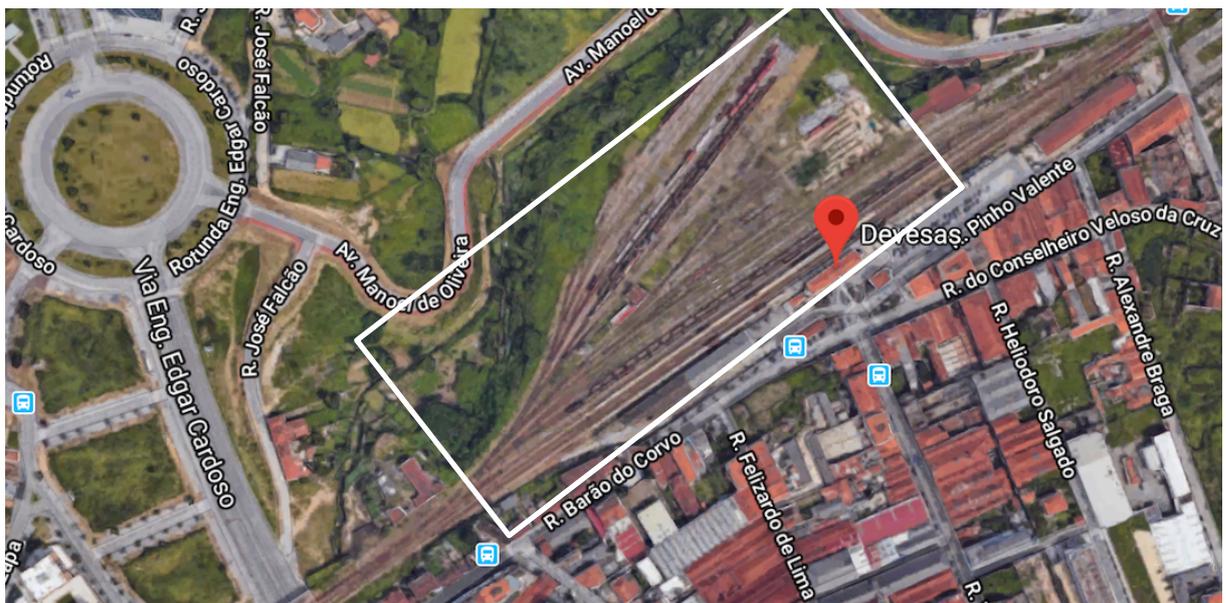


Fig. 4.13 – Localização da estação ferroviária de Devesas, em Vila Nova de Gaia (sinalizada no mapa) [29].

4.1.6. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE ESPINHO – FE

4.1.6.1. Caracterização Geral

A estação de Espinho (Fig. 4.14) foi inaugurada em 8 de Julho de 1863, no entanto devido a obras de requalificação da cidade, a estação passou a ser uma gare subterrânea a 4 de Maio de 2008. Situa-se na Avenida 8, Caminhos de Ferro, no concelho de Espinho (Fig. 4.16) [34].



Fig. 4.14 – Entrada principal da estação ferroviária de Espinho.[foto do Autor]



Fig. 4.15 – Interior, no subsolo, da estação ferroviária de Espinho.[foto do Autor]

Ao contrário das estações ferroviárias analisadas até este momento, a estação de Espinho é uma estação subterrânea, abaixo do subsolo, sendo que acesso é realizado pelo piso superior. É composta por duas linhas de circulação de material ferroviário, onde circulam comboios suburbanos, alfa pendulares, intercidades e de mercadorias (Fig. 4.15). Os comboios de mercadorias não realizam paragem nesta estação. O material ferroviário, alfa pendulares e intercidades, dependendo do horário de circulação, podem não efetuar paragem nesta estação. Circulam nesta estação os comboios que viajam nas linhas de Aveiro e do Norte e funciona como interface aos serviços de autocarro e de táxi [34].

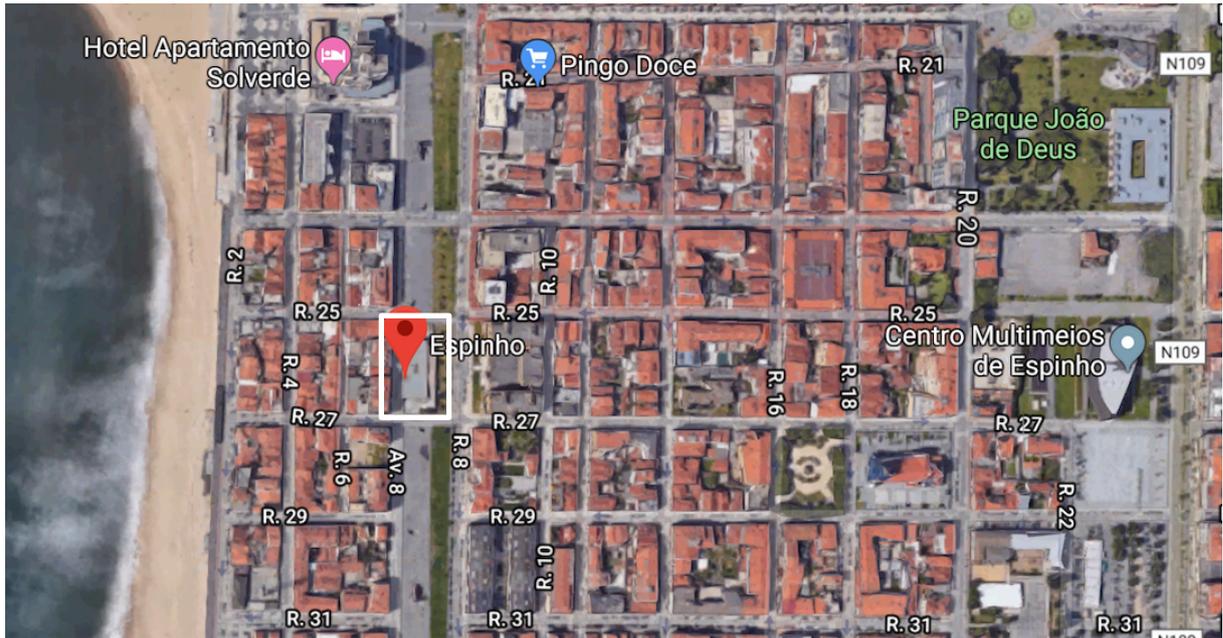


Fig. 4.16 – Localização da estação ferroviária de Espinho (sinalizada no mapa) [29].

4.1.6.2. Projeto Acústico

A estação ferroviária de Espinho apresenta condicionamento acústico nas zonas interiores. No projeto de reconstrução (rebaixamento) desta estação foi elaborado um Estudo de Impacte Ambiental. O estudo visa a intervenção de minimização em duas frentes: emissões diretas (circulação ferroviária) e campo reverberante.

As medidas tomadas foram na zona de interface roda-carril (diminuição do ruído emitido), no cais (aplicação de material absorvente na testa do cais e tetos), no átrio (revestimento absorvente no teto), na passagem interior do cais (aplicação de material absorvente), nas salas (reforço de isolamento sonoro) e na cobertura (colocação de assentamento do chiller, de modo a minimizar a transmissão do ruído por via estrutural). Para além disso foi aplicado um tratamento anti-vibrátil através de um assentamento resiliente nas linhas ferroviárias [35].

Para a aplicação destas medidas foi realizado um projeto acústico por computador utilizando os programas EASE/Acusticontrol e COLISEO para a determinação do tempo de reverberação e do nível sonoro máximo de chegada de um comboio. Com base neste estudo, considerando as intervenções realizadas, permitiu-se concluir que o campo reverberante fica limitado. Nos locais mais afastados, com a aplicação do tratamento acústico absorvente, estimou-se uma redução de 10 dB [35].

4.1.7. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DA CASA DA MÚSICA – RCM

O terminal de autocarros da Casa da Música (Fig. 4.17) fica situada na rua do Capitão Henrique Galvão (Fig. 4.18) na Boavista, concelho do Porto. Fica localizada junto à Avenida da Boavista. Funciona como terminal para as linhas de transporte rodoviário internacional, para a empresa InterNorte, e como paragem para as linhas de autocarros pertencentes às empresas STCP, Resende e Espírito Santo. Funciona como interface para o metro [29].



Fig. 4.17 – Estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.[foto do Autor]

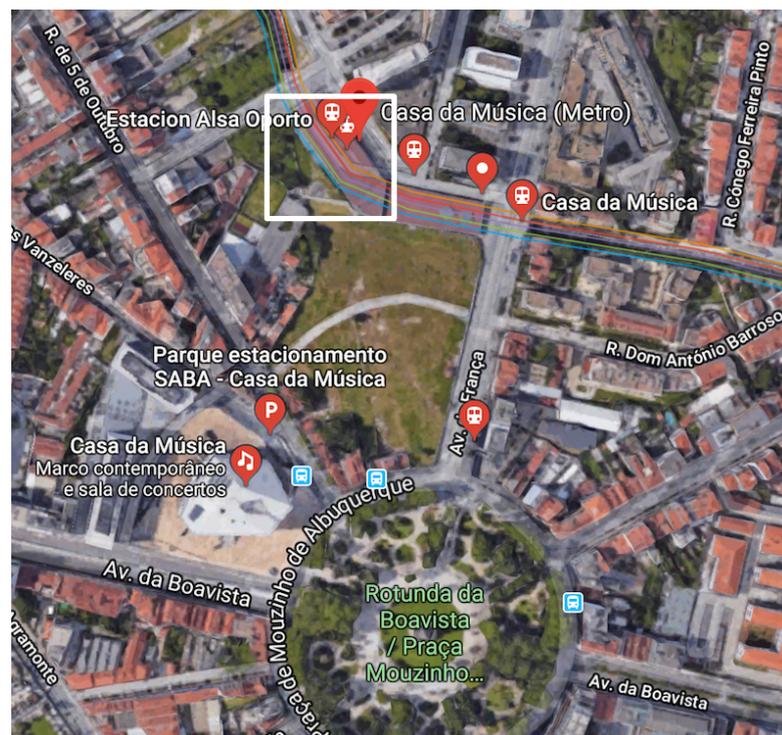


Fig. 4. 18 - Localização do Terminal de autocarros da Casa da Música, na Boavista, no Porto (sinalizada na imagem) [29].

4.1.8. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DO PARQUE DAS CAMÉLIAS – RPC

O terminal rodoviário do Parque das Camélias funciona como uma central de autocarros situada na Praça da Batalha, mas propriamente na rua Augusto Rosa, concelho do Porto (Fig. 4.13) [29]. Funciona como terminal para as linhas de transporte das empresas Av. Tâmega, Espírito Santo, MGC e Transdev, responsáveis pelo transporte de passageiros dentro e fora do distrito do Porto.



Fig. 4.19 – Estação rodoviária do Parque das Camélias, junto da Praça da Batalha, no Porto. [foto do Autor].



Fig. 4.20 – Localização do Terminal de Autocarros do Parque das Camélias (sinalizado no mapa) [29].

5

AVALIAÇÃO ACÚSTICA

5.1. INTRODUÇÃO

Para se proceder à realização da caracterização acústica das estações alvo de estudo foram medidos os níveis de ruídos relativos a situações proporcionadas pelo material circulante, como ruído de chegada, ruído de partida, ruído da chegada à partida (engloba os ruídos de chegada e de partida e o ruído entre estes dois momentos), ruído de passagem do veículo sem efetuar paragem e ruído do veículo estacionado (ruído do veículo quando se encontra parado na estação), ruído produzido pela transmissão da mensagem sonora, ruído existente nas salas de espera e o ruído ambiente. Para cada tipo de ruído foram medidos seis parâmetros com recurso ao sonómetro *Bruel & Kjaer* do tipo 2236.

5.2. PARÂMETROS DE ANÁLISE

Como foi referenciado anteriormente, os utentes de infraestruturas que servem de suporte aos meios de transporte, como estações ferroviárias e rodoviárias, estão expostos a uma quantidade relevante de ruído que é produzido nesses locais. Nesta dissertação, para quantificar os vários tipos de ruído existentes nas estações foram utilizados os seguintes parâmetros:

- L_{Aeq} (dB);
- L_{A10} (dB);
- L_{A50} (dB);
- L_{A90} (dB);
- $L_{Amáx}$ (dB);
- $L_{Amín}$ (dB).

O nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , como foi descrito no capítulo 2, define-se como “o nível que se atuasse constante num dado intervalo de tempo, “produziria” a mesma energia que o som que se pretende avaliar”, com aplicação do filtro sonoro A.

O nível sonoro estatístico L_{A10} , corresponde ao nível sonoro que num intervalo de tempo que é excedido em 10% da duração desse intervalo. O nível sonoro estatístico L_{A50} , corresponde ao nível sonoro que num intervalo de tempo é ultrapassado em 50% da duração desse intervalo de tempo. O nível sonoro estatístico L_{A90} , corresponde ao nível sonoro que é excedido em 90% da duração desse intervalo de tempo.

O nível sonoro máximo, corresponde ao nível sonoro de maior valor que foi medido nesse intervalo de tempo, não é o mesmo que o nível sonoro máximo de pico. O nível sonoro mínimo, corresponde ao nível sonoro de mínimo valor registado no intervalo de tempo da medição.

5.3. EQUIPAMENTOS

O equipamento utilizado para a medição dos parâmetros anteriormente referidos foi um sonómetro *Bruel & Kjaer* do tipo 2236 (Fig. 5.1), propriedade do Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.



Fig. 5.1 – Sonómetro do tipo 2236 da empresa B&K [foto do autor].

O sonómetro é um instrumento de medida dos níveis de pressão sonora. É, basicamente, constituído por um microfone, um circuito integrador, filtros de ponderação (sendo utilizado nestes ensaios o filtro A) e um mostrador digital. O diafragma do microfone responde às variações de pressão do ar causadas pelas ondas sonoras. Este movimento do diafragma, desvio da pressão sonora, é convertido num sinal elétrico, em volts. O microfone é caracterizado pela tensão, em volts, produzida quando é lhe aplicada a variação de pressão. O sonómetro converte o sinal elétrico em pressão sonora, exibindo os valores do nível de pressão sonora em decibéis (dB), permitindo a sua interpretação ao utilizador [2].

Tipos de sonómetros [2]:

- Tipo 0 – de referência (utilizado em laboratórios);
- Tipo 1 – de precisão;
- Tipo 2 – de uso geral;
- Tipo 3 – para estimativas.

É pertinente que o sonómetro apresente uma resposta semelhante ao que está a ser avaliado, isso implica que o detetor RMS (*Root Mean Square*) do sonómetro seja capaz de permitir diferentes ponderações de tempo. Sendo que essas ponderações podem ser de [36]:

- Resposta rápida (“Fast”) – corresponde a uma constante de tempo de 125 milissegundos. Foi esta o tipo de resposta utilizada na realização dos ensaios;
- Resposta Lenta (“Slow”) – corresponde a uma constante de tempo de 1 segundo. A resposta lenta evita flutuações rápidas do indicador do sonómetro quando o somo medido apresenta grandes e rápidas oscilações de pressão sonora;

- Resposta Impulsiva (“Impulsive”) – corresponde a uma resposta que tem uma constante de tempo de 35 milissegundos, quando o sinal sobe e de 1 segundo, quando o sinal desce.

5.4. TIPOS DE RUIDOS EXISTENTES

Na realização acústica das estações ferroviárias de Campanhã, São Bento, General Torres (Vila Nova de Gaia), Devesas (Vila Nova de Gaia) e das estações rodoviárias da Casa da Música (Boavista, no Porto) e do Parque das Camélias (Batalha, no Porto), foram avaliados os seguintes tipos de ruídos:

- Ruído de Chegada;
- Ruído de Partida;
- Ruído da Chegada à Partida;
- Ruído de Passagem;
- Ruído do Veículo Estacionado;
- Ruído Ambiente;
- Ruído da Mensagem Sonora;
- Ruído na Sala de Espera.

O ruído de chegada é o ruído que é produzido pelo meio de transporte no intervalo de tempo desde o momento de aproximação do veículo à estação (uma distância aproximada de 25 a 30m desde o avistamento do comboio até ao local de medição e uma distância aproximada de 5 a 10m desde o avistamento do autocarro até ao local de medição) até ao momento de abertura de portas. Este tipo de ruído está dependente do tipo do veículo e no caso das estações ferroviárias, do tamanho da composição.

O ruído de partida é o ruído produzido pelo veículo em avaliação no intervalo de tempo desde o aviso sonoro para a partida do comboio ou desde o momento de fecho de portas nos autocarros até ao afastamento do meio de transporte da plataforma (até uma distância entre os 25 a 30m do local de medição no caso dos comboios, uma distância de 5 a 10m na estação rodoviária da Casa da Música e no caso do Parque das Camélias até à entrada dos autocarros na via de circulação principal). Tal como o ruído de chegada, está dependente, do tipo de veículo e, no caso dos comboios, do tamanho da composição.

O ruído da chegada à partida é o ruído produzido pelo material circulante desde o momento de aproximação do veículo à estação até ao afastamento deste da plataforma (distâncias idênticas às apresentadas nos dois tipos de ruídos anteriores). Para além de ser avaliado o ruído de chegada e de partida, é também analisado o ruído do veículo estacionado o ruído de abertura e fecho de portas, entre outros (engloba o ruído de chegada, de partida e o ruído do veículo entre esses dois momentos). Tal como os dois tipos de ruído anteriores, depende do tipo de meio de transporte e do tamanho da composição, no caso das estações ferroviárias. Neste caso o tamanho da composição é relevante, dado que, quanto maior for o tamanho da composição maior é o intervalo de tempo onde há a predominância de menores ruídos.

O ruído de passagem é o ruído produzido no intervalo de tempo desde a aproximação até ao afastamento do veículo nas estações, no entanto ao contrário do ruído da chegada à partida, o meio de transporte não efetua paragem nas estações. Está diretamente relacionado com o tipo de veículo e com o tamanho dos comboios.

O ruído do veículo estacionado corresponde ao ruído produzido pelo meio de transporte quando este se encontra estacionado na estação durante um período alargado de tempo, como o intervalo de tempo da medição não é definido como nos restantes ruídos referenciados até ao momento, o tempo de medição foi estabelecido em dois minutos quando o veículo se encontrava parado na estação (não foi medido no intervalo de tempo entre a chegada e a partida, aquele referido no ruído da chegada à partida, dado que os intervalos de tempo eram muito diferenciados entre os comboios e os autocarros). Este tipo de ruído está apenas dependente do tipo de veículo.



Fig. 5.2 – Ruídos existentes no movimento dos meios de transporte.

Na Fig. 5.2 está demonstrado as várias situações existentes numa estação referentes ao movimento do meio de transporte e conseqüente tipo de ruído avaliado.

Para além dos ruídos afetos aos meios de transporte, também foram avaliados outros ruídos existentes na estação, mas que não são diretamente produzidos pelos veículos. O ruído ambiente é o ruído existente na estação, quando não existe circulação de veículos, ou seja, é o ruído existente na estação sem a presença de comboios ou autocarros, com a exceção da estação de São Bento. O intervalo de tempo da medição destes ruídos foi estabelecido em 3 minutos, de modo a que não seja contemplado o ruído produzido pelos veículos, ou seja, a definição deste intervalo de tempo teve em consideração frequência de circulação dos veículos nas estações.

O ruído da mensagem sonora é o ruído existente na estação no momento da transmissão de informações pelas colunas da estação. O intervalo de tempo da medição é a duração da difusão das informações, sendo que este intervalo está dependente da quantidade de informação que se quer transmitir. Este tipo de ruído só existe em estações ferroviárias.

O ruído existente na Sala de Espera é o ruído avaliado no interior da sala de espera da estação, está relacionado com diversos fatores, o tempo de duração de medição foi estabelecido em 2 minutos, devido à homogeneidade de valores não foi necessário um período de tempo maior, de modo a evitar uma maior existência de eventos momentâneos e aleatórios que condicionem a medição.

5.5. REQUISITOS LEGISLATIVOS

A legislação Portuguesa na área da acústica para as estações ferroviárias e rodoviárias e a exposição dos utentes aos ruídos efetuados por estes meios de transporte, baseia-se no Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE, DL 96/2008) e no Regulamento Geral do Ruído (RGR, DL 09/2007).

O RRAE tem como principal interesse o conforto acústico em edifícios, de modo a melhorar a qualidade do ambiente acústico e no bem-estar e saúde dos utentes. As normas associadas a este regulamento aplicam-se à construção, reconstrução e requalificação dos seguintes tipos de edifícios:

- Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (artº 5º);
- Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (artº 6º);
- Edifícios escolares e similares, e de investigação (artº 7º);
- Edifícios hospitalares e similares (artº 8º);
- Recintos desportivos (art 9º);
- **Estações de transporte de passageiros (artº 10º);**
- Auditórios e salas (artº 10º-A)

Do objetivo desta dissertação só interessa o artigo 10º, Estações de transporte de passageiros. Este artigo só impõe requisitos face ao Tempo de Reverberação, que não foi objeto de estudo nesta dissertação, sendo que não faz qualquer referência ao nível de ruído existente nas estações. No entanto, o artigo 10º estabelece os seguintes requisitos [37]:

1- No interior dos átrios ou salas de embarque das estações de transporte de passageiros, de volume superior a 350 m², considerados mobilados normalmente e sem ocupação, o tempo de reverberação, T, corresponde à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, deverá satisfazer as condições seguintes, nas quais V se refere ao volume interior do recinto em causa:

a) $T(500-2k \text{ Hz}) \leq 0,15 \times V^{1/3}$;

b) $T(500-2k \text{ Hz}) \leq 0,12 \times V^{1/3}$, se os espaços forem dotados de sistema de difusão pública de mensagens sonoras;

2- A determinação do tempo de reverberação deve ser efetuada em conformidade com o disposto na normalização portuguesa aplicável ou, caso não exista, na normalização europeia ou internacional;

3- Nas avaliações in situ destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um fator de incerteza, I, associado à determinação das grandezas em causa.

4- O edifício, ou qualquer das suas partes, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis quando o valor obtido para o tempo de reverberação, T, diminuído do fator I no valor de 25% do limite regulamentar, satisfaça o limite regulamentar.

Relativamente ao regulamento geral do ruído, este estabelece valores limites de exposição, em função da classificação de zonas Mistas ou Sensíveis.

Quadro 5.1 – Valores limites de exposição segundo o RGR [38].

Classificação de Zonas	L _{den} dB(A)	L _n dB(A)
Zonas Mistas	65	55
Zonas Sensíveis	55	45
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT existente	65	55
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT não aéreo	60	50
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT aéreo em projeto	65	55
Recetores Sensíveis em Zonas não classificadas	63	53

No quadro 5.1 estão expostos os limites de exposição para o L_{den} (indicador de ruído diurno-entardecer-noturno, engloba os indicadores de ruído diurno (L_d), do entardecer (L_e) e do noturno (L_n)) e para o L_n (indicador de ruído noturno) em função das zonas mistas e sensíveis. O período do dia referente a cada um dos indicadores é: das 7h às 20h para o período diurno, das 20 às 23h para o período do entardecer e das 23 às 7h para o período noturno. O Regulamento Geral do Ruído define zona sensível como “*a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno*”. Relativamente às zonas mistas são definidas como “*a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível*” [38].

Do plano de vista do conteúdo desta dissertação, é de especial interesse as zonas sensíveis de proximidade as GIT existentes ou Não Aéreas, sendo que as GIT são as grandes infraestruturas de Transporte. Uma GIT contabiliza mais de 3 milhões de veículos rodoviários, mais de 50 000 aviões e mais de 30 000 comboios por ano [38].

5.6. MÉTODO DE AVALIAÇÃO

5.6.1. CALENDARIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES

Para se poderem realizar as medições nas estações ferroviárias foi necessário a autorização por parte das Infraestruturas de Portugal. De forma a ter acesso às estações e ao requisito do equipamento ao Laboratório de Acústica da FEUP foi estabelecida as datas de elaboração dos ensaios. Em cada data foi realizada a ida à estação em dois momentos, um no período de maior incidência de passageiros e comboios (hora de ponta) e um no período de menor tráfego, quer de passageiros quer de utentes. As datas de realização dos ensaios nas estações ferroviárias e rodoviárias (a realização destas não necessitou de autorização) foram:

- Dia 22 de Março, na Estação ferroviária de Campanhã;
- Dia 26 de Março, na Estação ferroviária de São Bento;
- Dia 27 de Março, na Estação rodoviária da Casa da Música;
- Dia 28 de Março, na Estação ferroviária de General Torres;
- Dia 11 de Abril, na Estação ferroviárias das Devesas;
- Dia 13 de Abril, na Estação rodoviária do Parque das Camélias;
- Dia 2 de Novembro, na Estação ferroviária de Espinho.

5.6.2. CASO GERAL

Para a realização da caracterização acústica das estações foram escolhidos locais de medição estratégicos de modo a obter os melhores resultados possíveis. Os locais de medição referentes a realização da avaliação do ruído proveniente dos meios de transporte localizam-se a uma distância aproximada de dois metros da fonte sonora, 1,5m no caso da estação de Devesas (distância vertical) e a numa zona central a meio do veículo (procurou-se que o local da medição na plataforma se situa-se a meio do veículo avaliado, mesma distância do local de medição á frente do comboio e à parte de trás),

como pode ser visualizado na Fig. 5.3. A avaliação do ruído produzido pela mensagem sonora e o ruído ambiente foram realizadas em locais estratégicos. O ruído na sala de espera foi avaliado num banco, como se de um passageiro se tratasse.

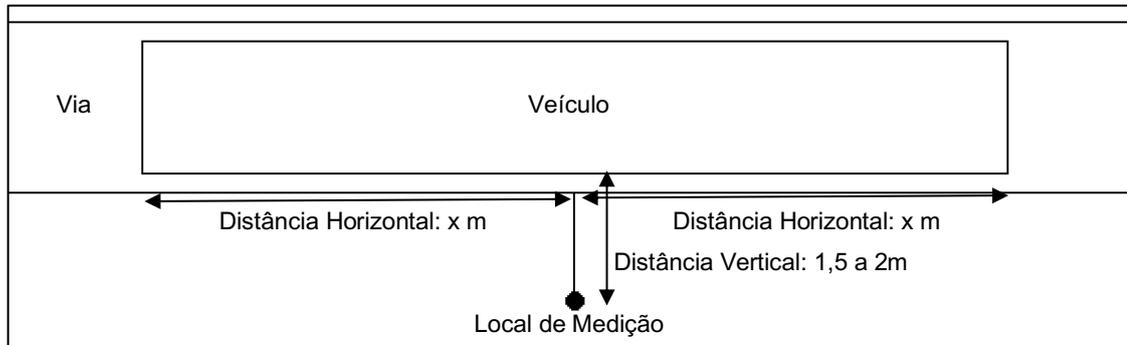


Fig. 5.3 – Esquema representativo da posição do local de medição face ao veículo em avaliação.

5.6.3. CASOS DE ESTUDO

5.6.3.1. Estação Ferroviária de Campanhã – FC

A estação ferroviária de Campanhã é composta por dezasseis vias de circulação, no entanto nem todas foram alvo de ensaios. Só foram contempladas da linha 1 à linha 6 (linhas onde existe uma maior predominância de passageiros na estação). Os veículos em circulação avaliados foram comboios suburbanos, inter-regionais e uma locomotiva a diesel, sendo que foi avaliado o ruído de chegada, de partida, da chegada à partida e o veículo estacionado. Foram também avaliados o ruído ambiente, o ruído da mensagem sonora e o ruído existente na sala de espera.

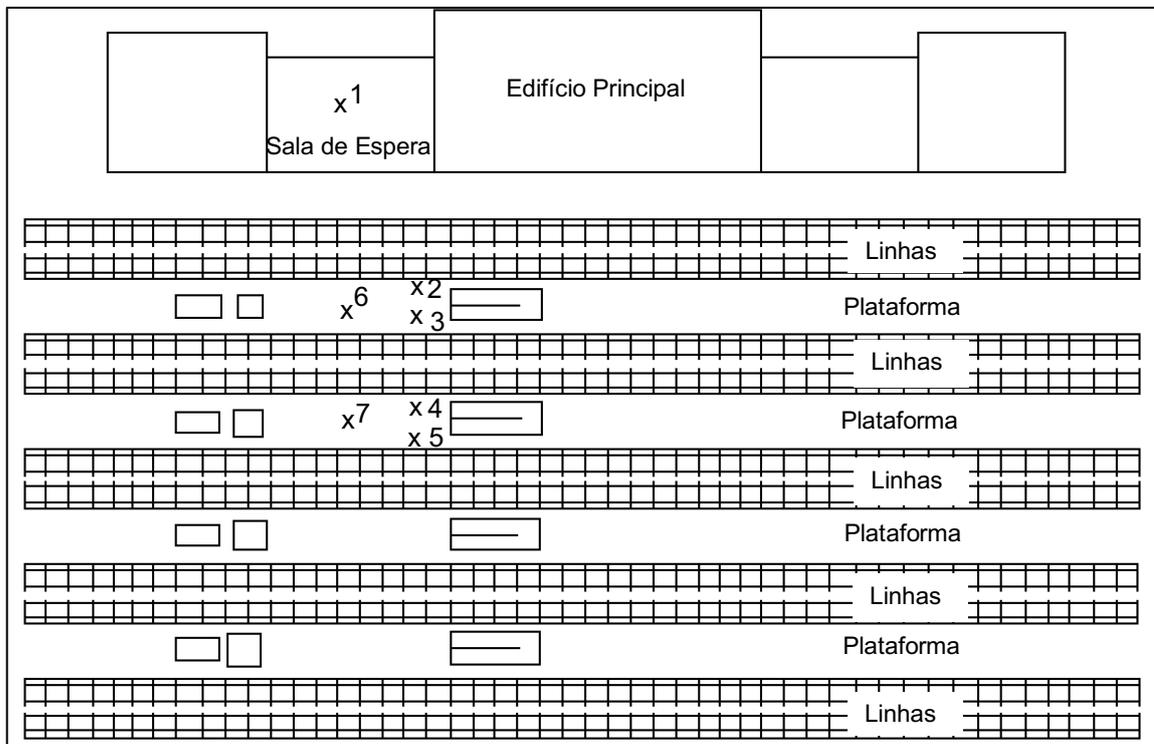


Fig. 5.4 – Corte da planta (sem escala) da estação ferroviária de Campanhã, com os 7 pontos de medição.

Nesta estação foram utilizados 7 locais de medição (Fig. 5.4). No ponto 1, que fica localizado na sala de espera, o ruído alvo de avaliação foi o ruído existente na sala de espera. Os pontos 2, 3, 4 e 5 situam-se a dois metros das linhas ferroviárias mais próximas (o ruído proveniente das escadas rolantes pouco condiciona as medições nestes locais). No Ponto 2 foi avaliado, para além da mensagem sonora, o ruído produzido pelos comboios e locomotivas que circulam nas linhas 1 e 2 da estação. No ponto 3, para além da mensagem sonora, foi avaliado o ruído afeto aos comboios que circulam na linha 3. No ponto 4, para além do ruído proveniente da mensagem sonora, foi analisado o ruído proveniente dos comboios que circulam na linha 4. No ponto 5 foi avaliado o ruído produzido pela circulação do material ferroviário nas linhas 5 e 6 e o ruído de transmissão da mensagem sonora. Nos pontos 6 e 7, pontos situados a meio da plataforma, igual distância para as linhas ferroviárias de cada lado, foi avaliado o ruído ambiente na estação, quando não há circulação de comboios e/ou locomotivas.

5.6.3.2. Estação Ferroviária de São Bento – FSB

A estação ferroviária de São Bento é composta por oito vias de circulação. Os veículos ferroviários avaliados foram do tipo comboio suburbano e comboio inter-regional. Os tipos de ruído avaliados foram: ruído de chegada, de partida, do veículo estacionado, referente aos comboios e ruído ambiente, ruído da mensagem sonora e ruído na sala de espera. Como se trata de uma estação terminal os ruídos da chegada à partida e de passagem não existem neste tipo de estações.

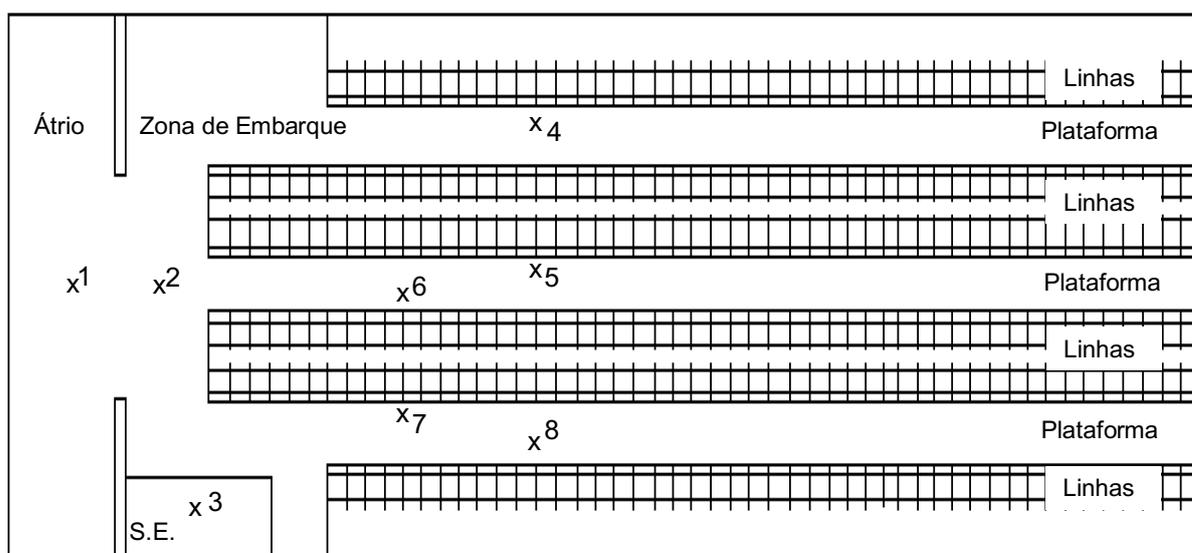


Fig. 5.5 – Planta (sem escala) da estação ferroviária de São Bento, com os 8 pontos de medição. (S.E. – Sala de Espera).

Nesta estação foram analisados ruídos em 8 pontos distintos (Fig. 5.5). O ponto nº 1, localizado no átrio de entrada da estação, foi analisado o ruído ambiente e o ruído da mensagem sonora. O ponto nº 2, localizado na zona de embarque da estação, entre o átrio e as linhas ferroviárias, foi avaliado, como no ponto 1, o ruído ambiente e ruído da mensagem sonora. O ponto 3 fica situado na sala de espera, e para esta estação, foram analisados o ruído da mensagem sonora e ruído existente na mesma. Dos pontos 4 a 8 situados junto das linhas ferroviárias foram analisados o ruído produzido pelos comboios. A mensagem sonora não foi avaliada nestes pontos, dado que é impercetível. O ruído ambiente não foi avaliado nestes pontos, porque, para estes casos, trata-se do ruído do veículo estacionado.

5.6.3.3. Estação Ferroviária de General Torres (Vila Nova de Gaia) – FGT

A estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia, é composta por quatro vias de circulação, no entanto, só duas se encontram disponíveis para a circulação (as mais centrais). As linhas mais laterais, de cada lado, não têm qualquer uso. O material circulante avaliado nesta estação foi comboios suburbanos, alfa pendulares, intercidades e de mercadorias. Os tipos de ruídos avaliados nesta estação foram: ruído de chegada, de partida, da chegada à partida e de passagem de comboios ou locomotivas e o ruído ambiente e da mensagem sonora.

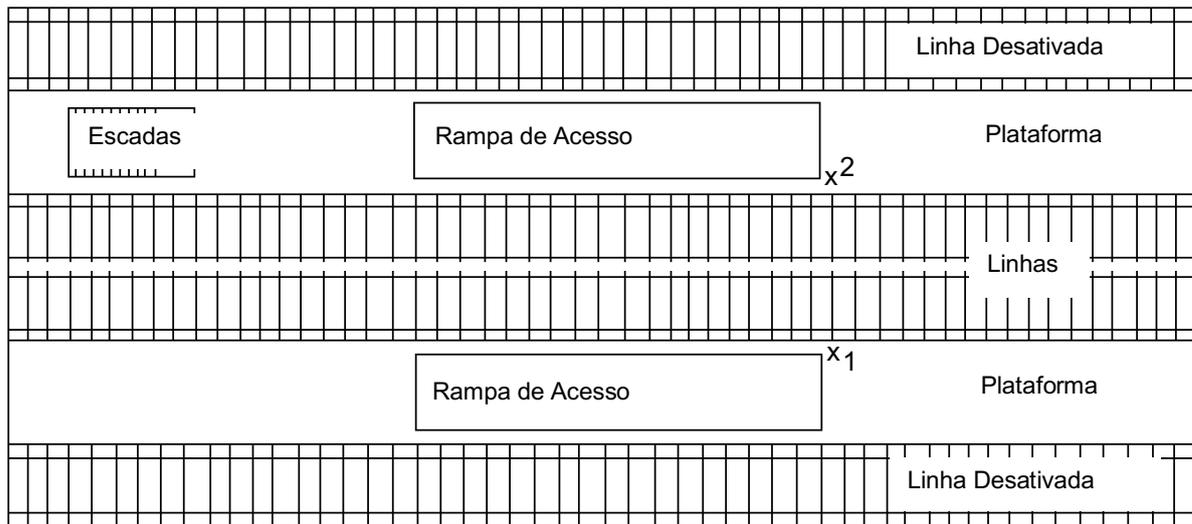


Fig. 5.6 – Planta (sem escala) da estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia, com os 2 pontos de medição.

Nesta estação foram avaliados os ruídos em dois locais (Fig. 5.6). Os pontos 1 e 2 situam-se próximos das linhas de circulação. No ponto 1, apenas se realizaram duas medições, uma do ruído de partida e a outra do ruído ambiente. No ponto 2, foram efetuadas as restantes medições realizadas nestas estações.

5.6.3.4. Estação Ferroviária das Devesas (Vila Nova de Gaia) – FD

A estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia, é constituída por três vias de circulação, duas linhas principais onde se dá a normal circulação dos comboios de passageiros e de alguns comboios de mercadorias e uma linha auxiliar de acesso ao parque de estacionamento de comboios, onde circulam alguns comboios de mercadorias. O material ferroviário avaliado foi comboios suburbanos, intercidades, alfa pendulares e de mercadorias. Relativamente a avaliação acústica, foi analisado o ruído de chegada, de partida, da chegada à partida e de passagem de veículos ferroviários, bem como o ruído ambiente, o ruído da mensagem sonora e o ruído na sala de espera.

Nesta estação os diversos tipos de ruídos foram avaliados em três locais da estação (Fig. 5.7). Os pontos 1 e 2 são localizados junto das linhas ferroviária, sendo que, como a plataforma onde se localiza o ponto 2 de menor largura, as medições efetuadas são referentes as linhas de ambos os lados. No ponto 1 e 2 foram avaliados os ruídos relativos à circulação dos comboios, o ruído ambiente e o ruído da mensagem sonora. O ponto 3, localizado na sala de espera no interior do edifício que serve de suporte à estação, apenas é o local onde é avaliado o ruído na sala de espera.

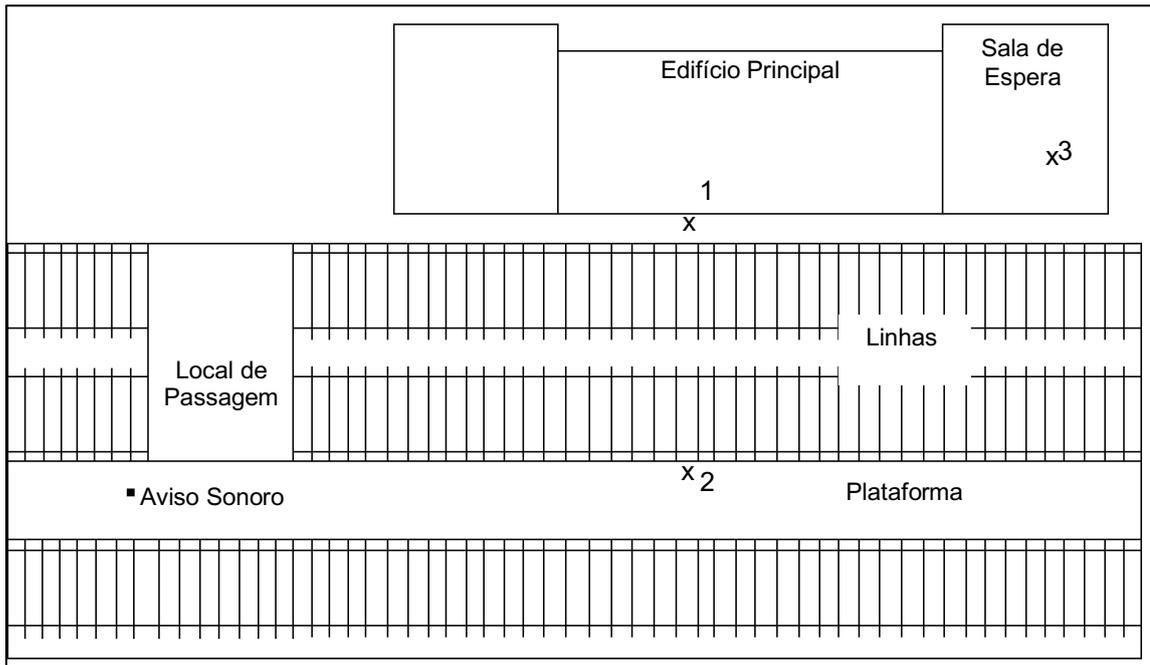


Fig. 5.7 – Planta (sem escala) da estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia, com os 3 pontos de medição.

5.6.3.5. Estação Ferroviária de Espinho – FE

A estação ferroviária de Espinho é uma estação subterrânea composta por duas vias de circulação. O material circulante é caracterizado por comboios suburbanos, intercidades, alfa pendulares e de mercadorias e uma locomotiva a diesel. As características avaliadas foram: chegada, partida, da chegada à partida e de passagem dos veículos ferroviários, mensagem sonora e ruído ambiente.

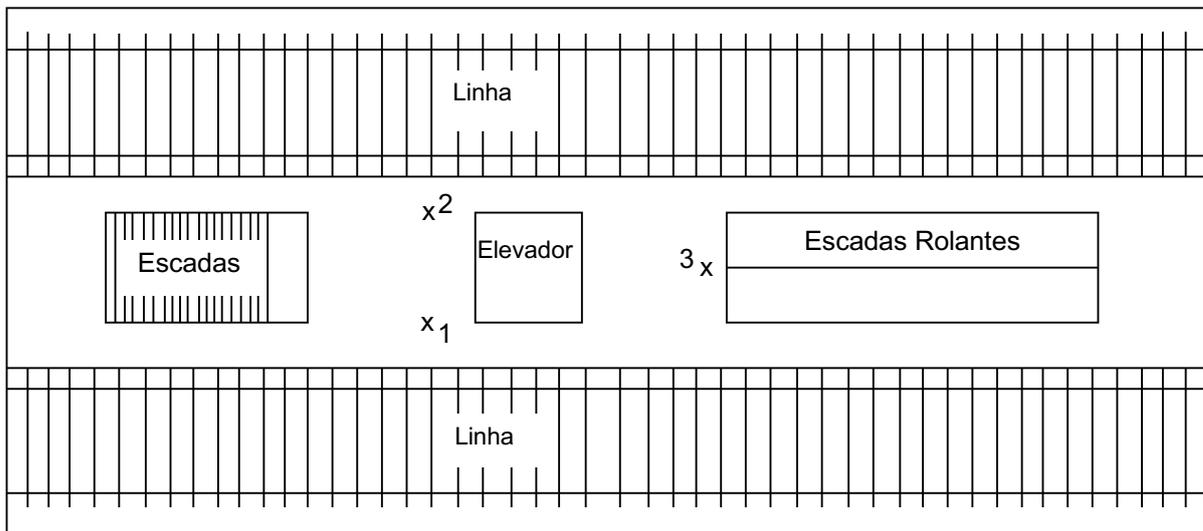


Fig. 5.8 – Planta esquemática (sem escala) da estação ferroviária de Espinho, com 3 pontos de medição.

Nesta estação as medições foram realizadas em três pontos distintos (Fig. 5.8). Os pontos 1 e 2 são localizados a uma distância aproximada de 2 metros das linhas de circulação. Nestes pontos foram avaliados os ruídos referidos anteriormente. O ponto 3 fica localizado junto das escadas rolantes e foi

apenas avaliado o ruído ambiente de modo a perceber o acréscimo de ruído efetuado pelo funcionamento do sistema de escadas rolantes.

5.6.3.6. Estação Rodoviária da Casa da Música – RCM

A estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no concelho do Porto funciona como um terminal de autocarros para as empresas STCP, Resende e Espírito Santo. O acesso a este terminal é realizado por duas ruas, Rua Helena Sá e Costa e Rua do Capitão Henrique Galvão. É constituída por sete paragens. Os tipos de ruídos avaliados foram de chegada, de partida, da chegada à partida, de passagem e do Autocarro parado e ruído ambiente. O material circulante é do mesmo tipo, salvo pequenas exceções por serem de diferentes empresas.

Nesta estação foram utilizados cinco locais distintos para a realização dos ensaios (Fig. 5.9). Os pontos 1, 2 e 3 situa-se na proximidade das paragens existentes na estação, de modo a poder ser avaliado o ruído afeto ao movimento dos autocarros. Os pontos 4 e 5 localizam-se no meio das plataformas, entre as diversas paragens, de modo a ser possível avaliar o ruído dos veículos que se encontram estacionados nos locais a sua frente, no ponto 4 veículos afetos a empresa STCP e no ponto 5, veículos afetos ao transporte internacional.

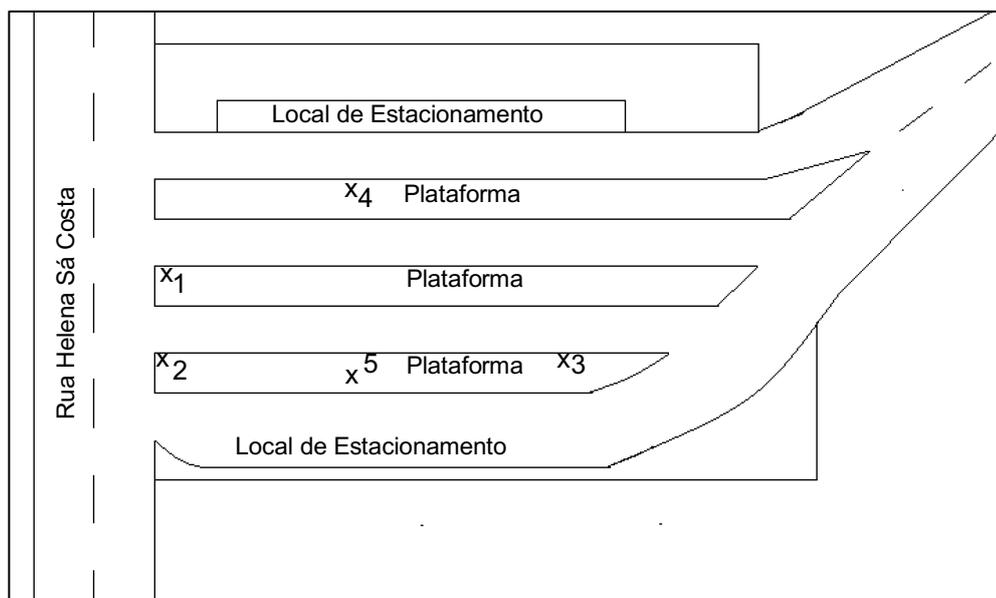


Fig. 5.9 – Planta esquemática (sem escala) da estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, com os 5 pontos de medição.

5.6.3.7. Estação Rodoviária do Parque das Camélias – RPC

Tal como a estação rodoviária da Casa da Música, a estação rodoviária do Parque das Camélias, situada na Praça da Batalha, no concelho do Porto, funciona como um terminal de autocarros. O seu funcionamento é feito com base no estacionamento de veículos rodoviários na parte mais interior da estação, com acesso na zona traseira, que depois efetua o seu deslocamento para as paragens e por consequente seguem marcha ao destino pretendido. Das várias plataformas existentes na estação só foram avaliadas duas paragens. O material rodoviário existente nesta estação pertence às empresas Espírito Santo, MGC, Av. Tâmega e Transdev. Dos vários tipos de ruídos alvo de avaliação nesta

dissertação, para a estação do Parque das Camélias, só foram avaliados o ruído de partida, do veículo estacionado, de passagem e ruído ambiente.

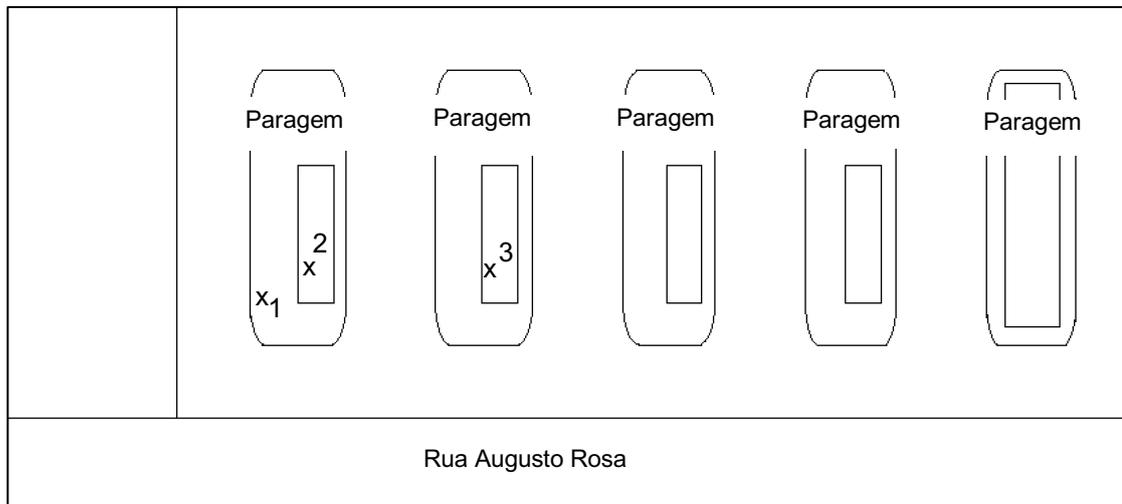


Fig. 5.10 – Planta esquemática (sem escala) da estação rodoviária do Parque das Camélias, na Praça da Batalha, com os 3 pontos de medição.

Nesta estação os vários tipos de ruídos foram avaliados em três locais distintos (Fig. 5.10). O ponto nº 1 fica situado na zona exterior da paragem de modo a avaliar os ruídos dos autocarros que circulam na via da esquerda, nomeadamente da empresa Av. Tâmega. os pontos 2 e 3 ficam localizados no interior das paragens para avaliar o ruído afeto aos autocarros que circulam nas vias à sua direita.

5.6.4. QUADROS SÍNTESE

No quadro 5.2 estão expostos o número de medições realizadas em cada estação para cada tipo de ruído avaliado. Sendo que é possível perceber a não avaliação de certos ruídos nas estações. Foram realizados um total de 270 medições. Nas estações de General Torres, das Devesas e Espinho, como o ruído do veículo estacionado não foi medido entre o intervalo de tempo da chegada e partida (no ruído da chegada à partida) não há registos de medições para este tipo de ruído. Relativamente aos outros tipos de ruídos, o modo de funcionamento dos veículos na estação, não permite a análise dos mesmos, como a paragem de todos os comboios na estação ou a não existência de certos movimentos como chegada ou chegada e partida. As estações rodoviárias não têm sistema de difusão da mensagem sonora. As salas de espera só existem em algumas estações.

Quadro 5.2 – Número de medições para cada tipo de ruído em cada estação alvo de estudo.

Tipos de Ruído	Número de Medições							Total
	Estações							
	Campanhã	São Bento	General Torres	Devesas	Espinho	Casa da Música	Parque das Camélias	
Chegada	7	7	7	7	7	7	Não Tem	42
Partida	7	7	7	7	7	7	7	49
Chegada à Partida	13	Não Tem	13	13	13	13	Não Tem	65
Veículo Estacionado	5	5	Não Tem	Não Tem	Não Tem	5	5	20
Passagem	Não Tem	Não Tem	13	3	6	2	2	26
Ambiente	6	6	6	6	6	6	6	42
Mensagem Sonora	5	5	5	5	Não Tem	Não Tem	Não Tem	20
Sala de Espera	2	2	Não Tem	2	Não Tem	Não Tem	Não Tem	6
Total	45	32	51	43	39	40	20	270

No Quadro 5.3 está indicado os locais de medição existente em cada estação onde foram realizadas as medições para os tipos de ruído avaliados.

Quadro 5.3 – Locais de medição nas estações para a avaliação dos ruídos existentes.

Tipos de Ruído	Locais de Medição							Duração da Medição (min)
	Estações							
	Campanhã	São Bento	General Torres	Devesas	Espinho	Casa da Música	Parque das Camélias	
Chegada	Ponto 2	Ponto 4		Ponto 1	Ponto 1	Ponto 2		Variável
	Ponto 3	Ponto 6	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 3		
	Ponto 5	Ponto 7		-	-	-		
Partida	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1	Variável
	Ponto 3	Ponto 6		Ponto 2	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 2	
	Ponto 5	Ponto 7	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 3	
	-	Ponto 8				-	-	
Chegada à Partida	Ponto 2		Ponto 2	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1		Variável
	Ponto 3	-		Ponto 2	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 2	
	Ponto 4			Ponto 2	Ponto 2	Ponto 3		
	Ponto 5					Ponto 4		
Veículo Estacionado	Ponto 2	Ponto 4					Ponto 1	2
	Ponto 3	Ponto 5					Ponto 2	
	Ponto 5	Ponto 6	-	-	-		Ponto 3	
	-	Ponto 7				Ponto 5	-	
Passagem	-	-	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 1 Ponto 2	Ponto 4	Ponto 1	Variável
Ambiente	Ponto 6	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1	Ponto 1	3
						Ponto 2	Ponto 2	
	Ponto 7	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 2		Ponto 3	Ponto 3	
Mensagem Sonora	Ponto 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 1				Variável
	Ponto 3	Ponto 2						
	Ponto 4	Ponto 3						
	Ponto 5	-			Ponto 2			
Sala de Espera	Ponto 1	Ponto 3	-	Ponto 3	-	-	-	2

6

RESULTADOS

6.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1.1. INTRODUÇÃO

Para se realizar a caracterização acústica das estações ferroviárias e rodoviárias foram avaliados diversos ruídos relativos ao funcionamento do material circulante na estação e ao dia-a-dia dos locais, entre as quais, ruído de chegada, ruído de partida, ruído de chegada e partida, ruído do veículo estacionado, ruído de passagem/circulação, ruído ambiental, mensagem sonora e ruído na sala de espera (sem difusão da mensagem sonora). Para analisar cada situação foram medidos seis parâmetros, o nível sonoro contínuo equivalente, o L_{A10} , o L_{A50} , o L_{A90} , o L_{Amax} e o L_{Amin} .

A segmentação deste capítulo em subcapítulos é de acordo com cada estação. Cada subcapítulo referente à estação é dividido nos ruídos em cima referidos, terminando com um quadro final com os vários tipos de ruídos para cada estação. Juntamente com os valores dos parâmetros enunciados, irá ser apresentada a média dos valores, a média logarítmica quando o parâmetro em estudo é o nível sonoro contínuo equivalente e a média aritmética quando os parâmetros em estudo são os níveis sonoros estatísticos, máximo e mínimo.

6.1.2. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE CAMPANHÃ (FC)

O modo de funcionamento e constituição da estação de Campanhã permitiu avaliar os seguintes ruídos: ruído de chegada, ruído de partida, ruído da chegada à partida, ruído do comboio estacionado, ruído ambiente, ruído na sala de espera e mensagem sonora, sendo que os primeiros quatro tipos estão dependentes do ruído produzido pelos comboios.

De modo a ser possível realizar uma caracterização individual da estação ferroviária de Campanhã, foi elaborado o Quadro 6.1, onde se pode visualizar os valores das medições para o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e da chegada à partida.

No que toca ao ruído de chegada da presente estação este perfaz uma média logarítmica de 77,2 dB(A), sendo que este valor é inflacionado pela consideração do ruído dos comboios inter-regionais, uma vez que o ruído produzido por estes é maior aquele que é produzido pelos comboios suburbanos. A média aritmética dos valores máximo e mínimo é de 84,2 e 64,7 dB(A), respetivamente. De salientar a possibilidade de os valores máximos serem condicionados por eventos momentâneos que condicionem a medição e os valores mínimos estão influenciados pelo ruído residual existente na estação.

O ruído de partida médio (calculado pela média logarítmica) é de 75,7 dB(A) e os valores máximo e mínimo médios são de 79,5 e 64,7 dB(A), respetivamente, sendo possível destacar a presença de comboios regionais e o seu efeito nos valores médios.

O ruído da chegada à partida médio é de 76,2 dB(A), medido pelo nível sonoro contínuo equivalente, e os níveis sonoros máximo e mínimo de 82,7 dB e 64,2 dB(A), mais uma vez condicionados pela presença de comboios regionais.

Quadro 6.1 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente, nível sonoro máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Campanhã.

Ruído	Estação Ferroviária de Campanhã (dB)										
	Pontos	LAeq	Média	LAmáx	Média	LAmín	Média				
Ruído de Chegada	2	75,8	77,2 ¹	80,4	84,2 ²	60,5	64,7				
		70,7		77,8		63,3					
		73,9		79,4		63,3					
	3	81,0		93,6		72,4					
		80,6		83,1		71,3					
	5	76,6		83,0		68,8					
		68,8		91,8		53,0					
	Ruído de Partida	2		72,3		75,7 ¹		77,2	79,5 ²	62,7	64,2 ²
		3		81,6				85,9		72,7	
69,2			73,5	61,3							
5		70,7	79,0	66,4							
		74,9	80,3	62,1							
		71,8	81,0	58,3							
		75,2	79,4	65,8							
Ruído da Chegada à Partida		2	71,1	76,2 ¹	83,6		82,7 ²	57,7		60,6 ²	
			72,0		81,5			64,9			
	72,3		82,6		63,4						
	73,7		84,6		65,5						
	69,8		82,2		59,7						
	73,9		79,6		60,9						
	79,3		84,5		63,4						
	76,8		91,5		57,8						
	71,3		83,0		57,1						
	3	84,2	90,3		69,2						
		71,2	80,2		58,6						
		4	70,6		80,9	54,6					
	5	65,8	70,8		54,9						

.1-Média Logarítmica; .2- Média Aritmética.

Legenda: Suburbano (UME 3400 e UTE 2240) Inter-Regional (UTD 592)

Após a análise tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoro máximo e mínimo a análise de cada ruído será completada pela avaliação dos níveis sonoros estatísticos L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} , cujos valores podem ser observados no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Campanhã.

Ruído	Estação Ferroviária de Campanhã (dB)						
	Pontos	L_{A10}	Média	L_{A50}	Média	L_{A90}	Média
Ruído de Chegada	2	77,5	76,9 ¹	74,5	73,0 ¹	66,0	67,9 ¹
		72,5		70,5		66,0	
		76,0		74,0		66,0	
	3	83,0		77,0		70,0	
		82,0		80,5		77,5	
	5	80,0		74,5		72,5	
67,0		60,0	57,5				
Ruído de Partida	2	74,5	75,9 ¹	72,0	73,1 ¹	65,0	67,6 ¹
	3	83,5		82,0		73,5	
		71,5		69,0		63,5	
	5	72,5		69,5		67,5	
		77,5		74,5		67,5	
		74,5		70,5		67,0	
77,5		74,5	69,0				
Ruído da Chegada à Partida	2	72,0	75,5 ¹	69,5	70,4 ¹	64,0	65,7 ¹
		74,5		71,0		66,5	
		75,0		68,0		65,5	
		76,5		71,5		68,5	
		74,5		65,5		61,5	
		75,5		73,5		67,0	
		80,0		79,0		78,0	
		80,0		67,5		62,5	
	74,0	70,5		61,0			
	3	86,5		83,5		80,0	
		74,5		69,0		61,0	
	4	72,0		67,0		62,0	
	5	66,0		60,0		57,0	

. 1- Média Aritmética.

Legenda: Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)

Inter-Regional (UTD 592)

Face ao ruído de chegada os níveis sonoros estatísticos, calculados com base na média aritmética, são de 76,9 dB para o L_{A10} , 73,0 dB para o L_{A50} e 67,9 dB para o L_{A90} , sendo que os valores apresentados pelos comboios regionais são superiores aos comboios suburbanos.

O ruído de partida apresenta valores dos níveis sonoros estatísticos na ordem dos 75,9 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 10, 73,1 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 50 e 67,6 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 90. É de salientar o facto de o ruído de partida apresentar menores valores de nível sonoro em comparação ao ruído de chegada nos parâmetros de valores superiores, nomeadamente, nível sonoro contínuo equivalente, nível sonoro máximo e nível sonoro estatístico L_{A10} e semelhantes nos restantes parâmetros o que evidencia o diferente modo como se realiza a chegada e partida dos comboios.

O ruído da chegada à partida apresenta valores médios para os níveis sonoros estatísticos de 75,5 dB para o L_{A10} , 70,4 dB para o L_{A50} e 65,7 dB para o L_{A90} , sendo que sempre que existem outros comboios que não sejam suburbanos estes valores são inflacionados (uma vez que, os restantes comboios produzem mais ruído que os suburbanos. Se tivermos em atenção estes parâmetros neste tipo de ruído existem valores mais baixos para os parâmetros relacionados com os menores valores, nomeadamente L_{A50} , L_{A90} e nível sonoro mínimo, resultante do intervalo de tempo entre o momento de chegada e de partida onde persiste a existência de valores mais baixos.

Realizada a análise individual dos ruídos de chegada, de partida e da chegada à partida resta apenas avaliar os ruídos do comboio estacionado, de ambiente da mensagem sonora e o existente na sala de espera, cujos valores para o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo estão expostos no Quadro 6.3.

O ruído médio do comboio estacionado na estação é de 79,8 dB(A) e apresenta um valor máximo médio de 82,9 dB(A) e um valor médio mínimo de 76,7 dB(A), sendo que foram avaliados comboios suburbanos, inter-regionais e alfa pendulares e uma locomotiva a diesel, estes apresentam contributos superiores aos comboio suburbanos, uma vez que são mais ruidosos.

O ruído ambiente médio é de 59,5 dB(A), e os valores médios máximo e mínimo de 72,9 e 53,9 dB(A), por essa mesma ordem, estes valores nesta estação estão relacionados com a circulação de passageiros, apesar de ter sido avaliado em locais afastado da zona de circulação principal.

O ruído existente na sala de espera é de 63,4 dB(A), calculado pela média logarítmica e os valores máximo e mínimo de respetivamente 80,3 e 57,4 dB(A). A sala de espera da estação de Campanhã é isolada dos restantes compartimentos da estação por meio de envidraçado, no entanto o ruído produzido no exterior a sala é por vezes audível, dependendo da intensidade do mesmo, aliado a este facto existem os ruídos produzidos pela abertura de portas e pelos passageiros que condicionam a medição.

O ruído médio produzido pela mensagem sonora é de 69,9 dB(A) e os valores médios máximo e mínimo para o nível sonoro de 77,6 e 69,8 dB(A) nessa mesma ordem. Sendo estes valores influenciados pela circulação de pessoas e comboios nas linhas mais externas.

Quadro 6.3 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído do comboio estacionado, o ruído ambiente, o ruído existente na sala de espera (S.E.) e o ruído produzido pela mensagem sonora na estação rodoviária de Campanhã.

Ruído	Estação Ferroviária de Campanhã (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amáx}	Média	L _{Amín}	Média
Ruído de Comboio Estacionado	2	79,8	79,8 ¹	82,7	82,9 ²	77,5	76,7 ²
		78,0		81,3		75,9	
	3	83,8		85,9		83,4	
	5	75,6		87,2		71,8	
		76,1		77,5		74,8	
Ruído Ambiente	6	56,9	59,5 ¹	70,8	72,9 ²	50,6	53,9 ²
		61,2		76,5		54,4	
		57,1		71,0		53,4	
		61,8		72,9		56,2	
	7	56,7		74,1		52,0	
		60,4		72,2		56,8	
S.E.	1	64,2	63,4 ¹	79,9	80,3 ²	57,0	57,4 ²
		62,9		80,6		57,7	
Mensagem Sonora	2	72,6	69,9 ¹	80,0	77,6 ²	63,4	59,8 ²
	3	66,7		79,7		52,2	
		70,4		77,4		62,4	
	4	66,9		73,6		57,9	
	5	70,1		77,5		62,9	

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética; S.E. – Sala de Espera

Legenda:

	Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)		Inter-Regional (UTD 592)
	Locomotiva a Diesel		Alfa Pendular (CPA 400)

Após a análise destes ruídos tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo será realizado uma avaliação destes ruídos com base nos níveis sonoros estatísticos, cujos valores estão presentes no Quadro 6.4.

O ruído do comboio estacionado apresenta valores médios de 79,5 dB para o L_{A10}, 78,3 dB para o L_{A50} e 77,2 dB para o L_{A90}, sendo que estes valores estão dependentes do ruído do produzido pelo compressor dos diferentes tipos de comboio.

A média aritmética do ruído ambiente para os níveis sonoros estatísticos é de 60,0 dB para o L_{A10}, 56,5 dB para o L_{A50} e 55,0 dB para o L_{A90}, sendo que estes valores são suscetíveis a ocorrência de eventos momentâneos que influenciam as medições.

O valor médio do ruído existente na sala de espera é de 64,8 dB para o L_{A10}, 60,8 dB para o L_{A50} e 58,5 dB para o L_{A90}.

O ruído médio produzido pela mensagem sonora é de 71,5 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 10, 68,4 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 50 e 62,7 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 90.

Quadro 6.4 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído do comboio estacionado, ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de Campanhã.

Ruído	Estação Ferroviária de Campanhã (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Comboio Estacionado	2	80,5	79,5 ¹	80,0	78,3 ¹	78,0	77,2 ¹
		79,0		77,5		76,5	
	3	84,0		83,5		83,5	
	5	77,5		74,5		73,0	
		76,5		76,0		75,0	
Ruído Ambiente	6	58,5	60,0 ¹	53,0	56,5 ¹	51,5	55,0 ¹
		61,0		58,5		57,0	
		57,5		55,5		54,0	
		62,5		60,0		58,0	
	7	58,5		53,0		52,0	
		62,0		59,0		57,5	
S.E.	1	65,5	64,8 ¹	61,0	60,8 ¹	58,5	58,5 ¹
		64,0		60,5		58,5	
Mensagem Sonora	2	74,5	71,5 ¹	71,5	68,4 ¹	68,0	62,7 ¹
		69,5		66,0		54,5	
	3	72,0		69,0		67,0	
	4	69,5		66,5		58,5	
		72,0		69,0		65,5	

. 1- Média Aritmética; S.E. – Sala de Espera

Legenda:

	Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)		Inter-Regional (UTD 592)
	Locomotiva a Diesel		Alfa Pendular (CPA 400)

O quadro seguinte contém as médias de cada parâmetro estudado nesta estação para cada tipo de ruído, sendo que para o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , a média é logarítmica para os restantes a média é aritmética.

Quadro 6.5 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de Campanhã.

		Tipos de Ruído							
		RCHG	RPAR	RCP	REST	RPAS	MS	RSE	RAMB
Níveis Sonoros (dB)	L _{Aeq}	77,2	75,7	76,2	79,8	X ¹	69,9	63,4	59,5
	L _{A10}	76,9	75,9	75,5	79,5	X ¹	71,5	64,8	60,0
	L _{A50}	73,0	73,1	70,4	78,3	X ¹	68,4	60,8	56,5
	L _{A90}	67,9	67,6	65,7	77,2	X ¹	62,7	58,5	55,0
	L _{Amax}	84,2	79,5	82,7	82,9	X ¹	77,6	80,3	72,9
	L _{Amin}	64,7	64,2	60,6	76,7	X ¹	59,8	57,4	53,9
	ΔL_A	19,5	15,3	22,1	6,2	X ¹	17,9	22,9	19,0

. 1 – Este tipo de ruído não foi avaliado nesta estação; RCHG – Ruído de Chegada; RPAR – Ruído de Partida; RCP – Ruído da Chegada à Partida; REST – Ruído do Comboio Estacionado; MS – Mensagem Sonora; RSE – Ruído da Sala de Espera; RAMB – Ruído Ambiente.

6.1.3. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE SÃO BENTO (FSB)

O modo de funcionamento e constituição da estação de São Bento permitiu avaliar os seguintes ruídos: ruído de chegada, ruído de partida, ruído do comboio estacionado, ruído ambiente, ruído na sala de espera e ruído produzido pela mensagem sonora, sendo que os primeiros três tipos estão dependentes do tipo e tamanho do material circulante. Um facto importante de realçar nesta estação é o elevado ruído residual presente na estação derivado do motor dos comboios nas linhas subjacentes.

Numa primeira fase da caracterização individual da estação de São Bento, foi criado o Quadro 6.6 onde estão presentes os valores das medições do ruído de chegada, de partida e do comboio estacionado no nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

O ruído médio de chegada presente na estação de São Bento é de 76,6 dB(A) e os valores médios máximos e mínimos de 83,5 e 71,0 dB(A), respetivamente. Este valor para além de ser condicionado pelo tipo de comboio é inflacionado pela existência do ruído residual, mais intenso na zona das linhas centrais que na zona das linhas mais laterais.

O ruído de partida médio calculado pela média logarítmica é de 76,8 dB(A) enquanto que o nível sonoro máximo é de 79,4 dB(A) e o mínimo é de 73,5 dB(A) e tal como acontece no ruído de chegada é influenciado pelo elevado ruído residual.

O ruído do comboio estacionado é devido ao ruído produzido pelo motor do comboio, sendo este maior num comboio inter-regional que num comboio suburbano, nesta estação o ruído médio é de 76,7 dB(A) e os ruídos médios máximo e mínimo de 80,1 e 73,6 dB(A), respetivamente. Apesar de o ruído do motor ser intenso o valor calculado é influenciado nos comboios das linhas centrais pela presença de comboios nas linhas subjacentes.

Quadro 6.6 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e dos comboios estacionados na estação ferroviária de São Bento.

Ruído	Estação Ferroviária de São Bento (dB)							
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amáx}	Média	L _{Amín}	Média	
Ruído de Chegada	4	80,8		95,9		71,0		
	6		74,9	76,6 ¹	78,5	83,5 ²	72,3	71,0 ²
			75,2		80,4		73,0	
			76,8		81,4		73,4	
			76,6		80,4		73,2	
			73,1		86,4		63,0	
	7		72,7	81,4	71,4			
Ruído de Partida	5	76,7		78,2		74,9		
	6		78,4	76,8 ¹	82,7	79,4 ²	74,6	73,5 ²
			77,0		79,4		74,3	
			78,5		81,0		75,4	
	7		70,6	73,3	67,1			
			76,5	80,5	74,3			
	8		76,3	80,6	74,2			
Ruído de Comboio Estacionado	4	80,5		87,2		78,6		
	5	74,3		77,3		72,2		
	6		75,9	76,7 ¹	79,3	80,1 ²	72,3	73,6 ²
			75,0		77,0		73,4	
	7		73,7	79,9	71,7			

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética.

Legenda: Suburbano (UME 3400 e UTE 2240) Inter-Regional (UTD 592)

Realizada a análise destes ruídos tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximos e mínimo irá se proceder a uma avaliação destes ruídos, mas tendo em conta os níveis sonoros estatísticos, cujos valores estão presentes no Quadro 6.7.

Para o ruído de chegada os níveis sonoros estatísticos médios, tendo em conta a média aritmética, são de 77,2 dB para o L_{A10}, 74,5 dB para o L_{A50} e 72,1 dB para o L_{A90}, sendo que, para além da influência do diferente tipo de comboio nos valores, é notável a influência do ruído residual existente na estação nos valores de L_{A90}.

No ruído de partida o valor da média aritmética para cada nível sonoro estatístico é de 77,5 dB para o L_{A10}, 75,9 dB para o L_{A50} e 74,4 dB para o L_{A90}. Mais uma vez é necessário destacar a influência do valor residual da estação.

O valor médio do ruído de compressor é de 76,4 dB para o nível sonoro estatístico L_{A10}, 75,4 dB para o nível sonoro estatístico L_{A50} e 74,5 dB para o nível sonoro estatístico L_{A90}, sendo influenciados pelo tipo de compressor do comboio e o ruído residual.

Quadro 6.7 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e dos comboios estacionados na estação ferroviária de São Bento.

Ruído	Estação Ferroviária de São Bento (dB)							
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média	
Ruído de Chegada	4	81,5		77,0		73,0		
	6		76,0		74,5		73,5	
			77,0	77,2 ¹	74,5	74,5 ¹	73,5	72,1 ¹
			78,5		76,5		74,0	
			79,0		75,5		74,0	
		75,5	71,0		64,5			
	7		73,0		72,5		72,0	
Ruído de Partida	5	77,5		76,5		75,5		
	6		80,0		78,0		75,5	
			78,0	77,5 ¹	77,0	75,9 ¹	75,0	74,4 ¹
			80,0		78,0		76,5	
	7		72,0		70,0		68,0	
			77,0	76,0	75,5			
	8		78,0		75,5		74,5	
Ruído de Comboio Estacionado	4	80,5		80,0		79,5		
	5	75,0		74,0		73,0		
	6		77,0	76,4 ¹	75,5	75,4 ¹	74,0	74,5 ¹
			75,5		74,5		74,0	
	7		74,0		73,0		72,0	

. 1- Média Aritmética

Legenda:



Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)



Inter-Regional (UTD 592)

Terminada a análise individual dos ruídos de chegada, de partida e do comboio estacionado resta apenas avaliar o ruído ambiente, o ruído existente na sala de espera e o ruído produzido pela mensagem sonora numa primeira fase tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo, cujos valores estão presentes no Quadro 6.8. e numa segunda com base nos níveis sonoros estatísticos.

Tendo em conta o ruído ambiente a média logarítmica do nível sonoro equivalente é de 74,9 dB(A), enquanto que os valores médios máximo e mínimo são de 87,4 e 69,7 dB(A), respetivamente. Os valores mais baixos do ruído ambiente foram medidos no átrio enquanto que os valores mais elevados foram medidos na zona de embarque, isto porque o átrio está separado da zona de embarque por uma parede divisória que permite a redução de ruído além disso a distância do átrio à fonte sonora também é maior que da zona de embarque.

O ruído médio na sala de espera é de 67,8 dB(A) e os valores médio máximo e mínimo de 80,1 e 63,1 dB(A), nessa mesma ordem, sendo são inflacionados pelo maior ruído existente na zona de embarque da estação.

O ruído médio produzido pela mensagem sonora é de 76,4 dB(A) enquanto que o valor médio máximo é de 82,5 dB(A) e o valor médio mínimo de 69,4 dB(A), sendo influenciado pelo ruído residual da estação.

Quadro 6.8 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de São Bento.

Ruído	Estação Ferroviária de São Bento (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amáx}	Média	L _{Amin}	Média
Ruído Ambiente	1	72,3	74,9 ¹	86,2	87,4 ²	68,2	69,7 ²
		71,9		83,5		62,2	
		73,6		89,3		67,9	
	2	76,4	76,4 ¹	91,2	82,5 ²	73,7	69,4 ²
		77,2		90,8		73,6	
		75,4		83,1		72,3	
S.E.	3	68,5	67,8 ¹	80,6	80,1 ²	63,9	63,1 ²
		66,9		79,6		62,2	
Mensagem Sonora	1	77,7	76,4 ¹	87,0	82,5 ²	66,9	69,4 ²
		75,2		80,6		70,4	
		78,3		85,4		75,0	
	2	76,7	76,4 ¹	82,4	82,5 ²	72,6	69,4 ²
		70,5		76,9		62,1	
		70,5		76,9		62,1	

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética; S.E. – Sala de Espera

Terminada a análise destes três tipos de ruído tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros estatísticos será realizada uma análise destes ruídos tendo em conta os níveis sonoros estatísticos, cujos valores estão presentes no Quadro 6.9.

Os valores médios, calculados pela média aritmética, são de 75,4 dB para o L_{A10}, 72,8 dB para o L_{A50} e 71,1 dB para o L_{A90}, sendo que existem as mesmas situações referenciadas anteriormente.

Os valores médios aritméticos do ruído existente na sala de espera são de 68,8 dB para o L_{A10}, 65,0 dB para o L_{A50} e 64,0 dB para o L_{A90}, sendo que estes valores tal como acontece para o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo inflacionados pelo ruído existente na estação pelos comboios parados nas plataformas.

Os valores médios medidos para os níveis sonoros estatísticos da mensagem sonoras são de 77,8 dB para o L_{A10}, 74,6 dB para o L_{A50} e 71,0 dB para o L_{A90} sendo também inflacionados pelo ruído residual da estação.

Quadro 6.9 – Medições dos níveis sonoros contínuos equivalentes para o ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de São Bento.

Ruído	Estação Ferroviária de São Bento (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído Ambiente	1	72,0	75,4 ¹	71,0	72,8 ¹	69,5	71,1 ¹
		75,5		68,0		64,5	
		75,0		72,5		70,5	
	2	76,0	77,8 ¹	74,5	74,6 ¹	74,0	71,0 ¹
		77,5		76,0		74,5	
		76,5		75,0		73,5	
S.E.	3	70,5	68,8 ¹	65,0	65,0 ¹	64,5	64,0 ¹
Mensagem Sonora	1	81,0	77,8 ¹	75,5	74,6 ¹	69,0	71,0 ¹
		77,0		74,5		72,0	
	2	80,0		77,0		76,0	
		78,0		76,5		73,5	
	3	73,0		69,5		64,5	

. 1– Média Aritmética; S.E. – Sala de Espera

O quadro seguinte contém as médias de cada parâmetro estudado nesta estação para cada tipo de ruído, sendo que para o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , a média é logarítmica para os restantes a média é aritmética.

Quadro 6.10 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de São Bento.

Níveis Sonoros (dB)	Tipos de Ruído								
	RCHG	RPAR	RCP	REST	RPAS	MS	RSE	RAMB	
L_{Aeq}	76,6	76,8	X ¹	76,7	X ¹	76,4	67,8	74,9	
L_{A10}	77,2	77,5	X ¹	76,4	X ¹	77,8	68,8	75,4	
L_{A50}	74,5	75,9	X ¹	75,4	X ¹	74,6	65,0	72,8	
L_{A90}	72,1	74,4	X ¹	74,5	X ¹	71,0	64,0	71,1	
$L_{Amáx}$	85,5	79,4	X ¹	80,1	X ¹	82,5	80,1	87,4	
L_{Amin}	71,0	73,5	X ¹	73,6	X ¹	69,4	63,1	69,7	
ΔL_A	12,4	5,8	X ¹	6,5	X ¹	13,1	17,1	17,7	

. 1 – Este tipo de ruído não foi avaliado nesta estação; RCHG – Ruído de Chegada; RPAR – Ruído de Partida; RCP – Ruído da Chegada à Partida; REST – Ruído do Comboio Estacionado; MS – Mensagem Sonora; RSE – Ruído da Sala de Espera; RAMB – Ruído Ambiente

6.1.4. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE GENERAL TORRES (FGT)

O modo de funcionamento e constituição da estação de General Torres permitiu avaliar os seguintes ruídos: ruído de chegada, ruído de partida, ruído da chegada à partida, ruído de passagem, ruído ambiente e mensagem sonora, sendo que os primeiros quatro tipos estão dependentes do tipo e tamanho do comboio.

Quadro 6.11 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e da chegada à partida dos comboios na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.

Estação Ferroviária de General Torres (dB)							
Ruído	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amax}	Média	L _{Amin}	Média
Ruído de Chegada	2	68,9	72,9 ¹	75,8	78,1 ²	57,3	60,2 ²
		72,1		78,2		59,6	
		73,6		78,0		53,8	
		73,7		77,7		61,7	
		75,6		81,9		63,6	
		69,5		75,7		60,6	
		73,0		79,3		64,6	
Ruído de Partida	1	74,2	73,1 ¹	81,3	77,5 ²	69,3	62,3 ²
	2	72,2		77,4		59,8	
		76,1		79,9		60,2	
		74,1		79,4		59,8	
		66,2		71,1		60,3	
		70,6		75,7		63,2	
		72,9		77,5		63,4	
Ruído da Chegada à Partida	2	69,5	74,9 ¹	83,6	82,7 ²	53,0	60,2 ²
		72,6		77,9		61,8	
		70,6		80,7		54,6	
		82,7		101,0		63,4	
		72,7		84,8		61,0	
		72,9		82,6		63,6	
		73,6		81,7		61,8	
		73,0		80,0		60,0	
		73,4		79,3		60,7	
		74,8		82,1		64,3	
		72,5		82,6		64,7	
		72,3		79,4		57,2	
		69,7		79,0		56,8	

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética

Legenda:  Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)

De modo a realizar-se uma caracterização individual da estação ferroviária de General Torres, foi elaborado o Quadro 6.11, onde se pode visualizar os valores das medições referentes ao nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e da chegada à partida.

O ruído de chegada da presente nesta estação perfaz uma média logarítmica de 72,9 dB(A) e os valores máximo e mínimo uma média aritmética de 78,1 e 60,2 dB(A), respetivamente. As diferenças entre os valores, uma vez que só foram avaliados comboios suburbanos prende-se com facto de haver diferentes tamanhos de composições.

O ruído médio de partida na presente estação é de 73,1 dB(A) e os valores médio máximo e mínimo de 77,5 e 62,3 dB(A), nessa mesma ordem. Tal como acontece no ruído anterior as diferenças entre os valores podem estar relacionadas com o diferente tamanho do comboio.

O ruído de chegada e de partida médio, com base na média logarítmica, é de 74,9 dB(A), o valor médio máximo é de 82,7 dB(A) e o valor médio mínimo é de 60,2 dB(A), sendo as diferenças encontradas relacionadas com o tamanho da composição e no intervalo de tempo entre a chegada e a partida com o possível desligar dos motores do comboio em algumas medições.

Realizada a análise dos três tipos de ruídos referenciados com base no nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo irá se proceder uma avaliação dos mesmos ruídos, mas tendo em conta os níveis sonoros estatísticos, L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} .

O ruído de chegada médio para os parâmetros estatísticos é de 75,4 dB para o L_{A10} , 70,6 dB para o L_{A50} e 63,6 dB para o L_{A90} , sendo que tal como acontece nos níveis sonoros máximo e mínimo e nível sonoro contínuo equivalente está dependente, nesta estação, do tamanho da composição.

O ruído de partida médio para os três níveis sonoros estatísticos é de 74,9 dB para o L_{A10} , 71,4 dB para o L_{A50} e 66,3 para o L_{A90} e estão dependentes dos mesmos fatores evidenciados anteriormente.

O ruído da chegada à partida médio é de 77,2 dB para o nível sonoro estatístico L_{A10} , 69,0 dB para o nível sonoro estatístico L_{A50} e 63,4 dB para o nível sonoro estatístico L_{A90} e tal como acontece com o ruído de chegada e de partida está dependente dos mesmos fatores evidenciados no nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

Quadro 6.12 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida, da chegada à partida dos comboios na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.

Ruído	Estação Ferroviária de General Torres (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Chegada	2	73,0	75,4 ¹	66,0	70,6 ¹	61,0	63,6 ¹
		76,5		69,0		60,5	
		76,5		72,0		60,0	
		76,5		73,0		64,5	
		78,5		73,5		66,5	
		71,5		69,0		65,5	
		75,5		71,5		67,0	
Ruído de Partida	1	76,5	74,9 ¹	73,0	71,4 ¹	70,5	66,3 ¹
	2	74,5		71,5		67,5	
		78,0		76,0		70,5	
		77,0		73,5		62,5	
		68,5		65,5		62,0	
		73,5		69,0		65,0	
		76,0		71,5		66,0	
Ruído da Chegada à Partida	2	74,5	77,2 ¹	64,5	69,0 ¹	57,0	63,4 ¹
		76,0		70,0		64,0	
		75,0		65,5		56,5	
		85,5		77,5		70,5	
		77,5		66,0		61,5	
		77,5		68,5		66,5	
		75,5		72,5		70,0	
		77,0		69,0		65,5	
		77,0		71,5		61,5	
		78,0		73,0		66,5	
		77,5		68,5		67,0	
		77,5		65,5		59,5	
		74,5		65,0		58,5	

. 1- Média Aritmética

Legenda:  Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)

Realizada a análise individual da estação face os três ruídos referidos, será realizada a análise para o ruído de passagem, ruído ambiente e ruído produzido pela mensagem sonora. No Quadro 6.12 estão presentes os valores do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para os restantes ruídos.

Quadro 6.13 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de passagem, ruído ambiente e ruído produzido pela mensagem sonora na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.

Ruído	Estação Ferroviária de General Torres (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amáx}	Média	L _{Amín}	Média
Ruído de Passagem	2	92,6	93,2 ¹	101,4	100,0 ²	65,2	66,0 ²
		91,3		98,0		59,4	
		94,5		103,4		66,5	
		93,9		101,1		67,8	
		94,9		102,4		65,3	
		93,3		98,4		68,6	
		96,4		103,5		71,0	
		84,7		92,1		61,4	
		94,7		109,7		69,1	
		84,4		91,4		70,4	
		95,0		100,7		71,7	
		89,8		97,0		71,1	
91,0	101,5	51,0					
Ruído Ambiente	1	55,9	57,7 ¹	68,3	72,1 ²	49,0	55,6 ²
	2	60,0		73,9		50,1	
		60,1		74,0		55,6	
		52,7		67,2		48,1	
		57,6		76,4		49,6	
		55,3		66,8		48,3	
Mensagem Sonora	2	63,4	65,6 ¹	71,0	71,1 ²	56,2	50,1 ²
		70,1		81,3		57,8	
		62,3		70,0		51,8	
		63,2		68,9		57,1	
		62,7		69,5		55,3	

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética

Legenda:



Mercadorias ou Locomotiva a Diesel



Alfa Pendular (CPA 4000)



Intercidades (LOC 5600).

O ruído de passagem dos comboios apresenta uma média logarítmica de 93,2 dB(A) para o nível sonoro contínuo equivalente e 100,0 e 66,0 dB(A) para a média aritmética dos valores máximos e mínimos, respetivamente. Sendo que estes valores são influenciados pelos tipos de comboios, comboios de mercadorias mais ruidosos, e pelo tamanho da composição, sendo que as dos comboios de mercadorias são maiores. Indiretamente, a velocidade de circulação e o peso dos comboios de mercadorias também podem condicionar estes valores.

A média logarítmica do ruído ambiente é de 57,7 dB(A) e 72,1 e 55,6 dB(A) para a média aritmética dos níveis sonoros máximo e mínimo, nessa mesma ordem. Sendo que nesta estação a baixa circulação de passageiros faz com que o valor seja baixo.

O ruído produzido pela mensagem sonora apresenta uma média logarítmica de 65,6 dB(A) e uma média aritmética para os valores máximo e mínimo de 71,1 e 50,1 dB(A), por essa ordem, sendo que estes valores estão relacionados com os diferentes intervalos de tempo das mensagens sonoras.

Quadro 6.14 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de passagem, ruído ambiente e mensagem sonora na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.

Estação Ferroviária de General Torres (dB)							
Ruído	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Passagem	2	98,0	96,6 ¹	79,0	83,5 ¹	67,0	68,7 ¹
		95,0		90,5		61,0	
		100,0		78,0		67,0	
		98,5		80,5		69,5	
		100,0		78,0		66,0	
		97,0		91,0		72,0	
		100,5		89,0		73,5	
		88,5		80,5		66,0	
		98,0		87,5		73,0	
		89,5		80,0		75,5	
		99,0		93,0		74,5	
		93,5		87,5		75,0	
98,0	71,0	53,0					
Ruído Ambiente	1	58,0	58,9 ¹	53,0	54,8 ¹	51,0	52,3 ¹
		62,5		56,5		53,0	
	2	61,5		59,0		57,0	
		54,0		52,0		50,0	
		60,0		54,5		52,0	
		57,5		53,5		51,0	
Mensagem Sonora	2	66,0	67,2 ¹	62,5	62,5 ¹	59,0	58,8 ¹
		74,0		66,5		61,0	
		65,5		59,5		56,0	
		65,0		62,5		60,0	
		65,5		61,5		58,0	

. 1- Média Aritmética

Legenda:



Mercadorias ou Locomotiva a Diesel



Alfa Pendular (CPA 4000)



Intercidades (LOC 5600).

Após a avaliação do ruído de passagem, ruído ambiente e ruído produzido pela mensagem sonora com base no nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo será elaborada uma análise para estes ruídos tendo em conta os níveis sonoros estatísticos, cujos valores podem ser visualizados no Quadro 6.14.

O ruído médio de passagem, calculado pela média aritmética, para os níveis sonoros estatísticos é de 96,6 dB para o L_{A10} , 83,5 dB para o L_{A50} e 69,7 dB para o L_{A90} , e estando estes valores dependentes dos mesmos fatores referenciados para o mesmo tipo de ruído, mas avaliado pelo nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

O ruído ambiente médio, calculado pela média aritmética, para os níveis sonoros estatísticos é de 58,9 dB para o L_{A10} , 54,8 dB para o L_{A50} e 52,3 dB para o L_{A90} .

O ruído produzido pela mensagem sonora calculado pela média aritmética nos níveis sonoros estatísticos é de 67,2 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 10, 62,5 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 50 e 58,8 dB(A) para o nível sonoro estatístico de percentil 90.

O quadro seguinte contém as médias de cada parâmetro estudado nesta estação para cada tipo de ruído, sendo que para o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , a média é logarítmica para os restantes a média é aritmética.

Quadro 6.15 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de General Torres, em Vila Nova de Gaia.

		Tipos de Ruído							
		RCHG	RPAR	RCP	REST	RPAS	MS	RSE	RAMB
Níveis Sonoros (dB)	L_{Aeq}	72,9	73,1	74,9	X ¹	93,2	65,6	X ¹	57,7
	L_{A10}	75,4	74,9	77,2	X ¹	96,6	67,2	X ¹	58,9
	L_{A50}	70,6	71,4	69,0	X ¹	83,5	62,5	X ¹	54,8
	L_{A90}	63,6	66,3	63,4	X ¹	68,7	58,8	X ¹	52,3
	L_{Amax}	78,1	77,5	82,7	X ¹	100,0	72,1	X ¹	71,1
	L_{Amin}	60,2	62,3	60,2	X ¹	66,0	55,6	X ¹	50,1
	ΔL_A	17,9	15,2	22,4	X ¹	34,0	16,5	X ¹	21,0

. 1- Este tipo de ruído não foi avaliado nesta estação; RCHG – Ruído de Chegada; RPAR – Ruído de Partida; RCP – Ruído da Chegada à Partida; REST – Ruído do Comboio Estacionado; MS – Mensagem Sonora; RSE – Ruído da Sala de Espera; RAMB – Ruído Ambiente

6.1.5. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DAS DEVESAS (VILA NOVA DE GAIA) (FD)

O modo de funcionamento e constituição da estação de Devesas, em Vila Nova de Gaia permitiu avaliar os seguintes tipos de ruído: ruído de chegada, ruído de partida, ruído de chegada e de partida, ruído de passagem, ruído ambiente, ruído na sala de espera e mensagem sonora, sendo que os primeiros quatros tipos estão dependentes do tipo e tamanho da composição. É importante realçar que nesta estação a distância do local de medição á fonte sonora foi menor que nas restantes estações devido a diminuto espaço das plataformas (distância de 1,5m) o que contribui para o aumento do ruído produzido pelos comboios em geral, por menor atenuação por divergência geométrica.

Para se realizar uma caracterização individual da estação ferroviária de Devesas foi elaborado o Quadro 6.16 onde se pode encontrar os valores do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida.

Quadro 6.16 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.

Ruído	Estação Ferroviária das Devesas (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amax}	Média	L _{Amin}	Média
Ruído de Chegada	1	75,9	83,4 ¹	84,3	87,0 ²	57,1	61,0 ²
		87,8		94,3		64,4	
	2	74,9		82,6		59,4	
		72,6		81,0		57,6	
		70,1		79,4		54,9	
		79,2		89,4		62,7	
		88,8		97,7		71,0	
Ruído de Partida	1	70,4	74,7 ¹	77,5	82,5 ²	53,6	60,8 ²
		78,5		87,5		65,4	
		73,5		84,0		63,4	
		74,4		81,6		64,7	
		76,5		86,9		63,3	
	2	72,0		79,6		51,6	
		71,8		80,5		63,7	
Ruído da Chegada à Partida	1	75,8	75,9 ¹	90,0	88,7 ²	61,0	61,0 ²
		81,5		91,9		60,1	
		71,7		85,7		61,2	
		72,4		84,5		58,7	
	2	76,4		86,5		59,8	
		72,7		90,2		52,1	
		74,7		90,2		60,5	
		73,5		83,5		63,0	
		79,4		95,7		66,1	
		73,4		89,2		63,0	
		73,0		89,4		64,2	
		75,5		91,8		59,0	
72,9	85,0	64,6					

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética

Legenda:



Alfa Pendular (CPA 4000)



Intercidades (LOC 5600)



Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)

Tendo em conta os valores apresentados, a média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído de chegada é de 83,4 dB (A) e os valores médios, através da média aritmética, são de 87,0 dB(A) para o nível sonoro máximo e 61,0 dB(A) para o nível sonoro mínimo. Estes valores apresentados nesta estação dependem do tipo e tamanho da composição, valores mais ruidosos para os comboios intercidade e alfa pendulares e valores de comboios menos ruidosos para os comboios de mercadorias e suburbanos.

O ruído de partida apresenta uma média logarítmica de 74,7 dB(A) para o nível sonoro contínuo equivalente e médias aritméticas de 82,5 e 60,8 dB(A) para os níveis sonoros máximo e mínimo, nessa mesma ordem, sendo que estes valores tal como acontece no ruído de chegada estão dependentes do tipo e tamanho da composição.

O ruído da chegada à partida tem como média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente 75,9 dB(A) e como média aritmética para os níveis sonoros máximo e mínimo 88,7 e 61,0 dB(A), respetivamente, e, tal como acontece nos ruídos anteriores, está dependente do tamanho e tipo de comboio.

Realizada a análise destes ruídos tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo irá se proceder a uma avaliação dos mesmos ruídos, mas desta vez com base nos níveis sonoros estatísticos, L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} .

Para o ruído de chegada os níveis sonoros estatísticos médios, com base na média aritmética, são de 82,5 dB para o L_{A10} , 74,5 dB para o L_{A50} e 65,3 dB para o L_{A90} sendo estes valores influenciados pelos mesmos fatores do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

O ruído de partida tem um nível sonoro estatístico L_{A10} médio de 76,0 dB, um nível sonoro estatístico L_{A50} médio de 73,3 dB e um nível sonoro estatístico L_{A90} médio de 64,1 dB. E tal como acontece no ruído anterior depende dos fatores enunciados anteriormente.

O ruído da chegada à partida médio tendo com base de cálculo a média aritmética é de 78,0 dB para o nível sonoro estatístico L_{A10} , 69,7 dB para o nível sonoro estatístico L_{A50} e 64,7 dB para o nível sonoro estatístico L_{A90} e depende dos mesmos fatores enunciados anteriormente para este tipo de ruído.

Quadro 6.17 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.

Ruído	Estação Ferroviária das Devesas (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Chegada	1	79,5	82,5 ¹	73,5	74,5 ¹	66,0	65,3 ¹
		92,0		85,5		70,0	
	2	80,0		65,0		61,0	
		75,5		72,0		61,5	
		74,5		65,0		57,5	
		82,5		76,0		64,0	
		93,5		84,5		77,0	
Ruído de Partida	1	72,5	76,0 ¹	71,0	73,3 ¹	56,0	64,1 ¹
		81,0		78,0		69,0	
		74,5		73,0		66,5	
		76,0		74,5		67,5	
		78,0		76,0		68,0	
	2	76,0		69,5		56,5	
		74,0		71,0		65,0	
Ruído da Chegada à Partida	1	79,0	78,0 ¹	67,5	64,1 ¹	63,0	64,7 ¹
		86,5		75,0		65,5	
		75,5		65,0		63,5	
		75,5		69,5		63,0	
		80,5		72,5		67,0	
	2	75,0		69,5		62,5	
		78,0		68,5		62,5	
		75,0		72,5		67,0	
		80,5		70,5		68,5	
		77,0		67,0		64,0	
		76,5		68,0		66,5	
		78,0		71,0		62,0	
		76,5		69,0		66,5	

. 1- Média Aritmética

Legenda:  Alfa Pendular (CPA 4000)  Intercidades (LOC 5600)
 Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)

Realizada a análise destes três ruídos falta avaliar os restantes quatro ruídos, cujos valores do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo estão presentes no Quadro 6.18.

Quadro 6.18 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de passagem de comboios, ruído ambiente, ruído na sala de espera e mensagem sonora na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.

Ruído	Estação Ferroviária das Devesas (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amax}	Média	L _{Amin}	Média
Ruído de Passagem	2	86,3	91,0 ¹	94,5	92,2 ²	62,4	58,9 ²
		95,2		101,5		61,4	
		72,5		80,6		53,0	
Ruído Ambiente	1	53,9	56,5 ¹	76,9	73,5 ²	45,4	46,3 ²
		58,1		75,4		45,2	
		54,8		73,0		45,8	
		57,6		72,5		46,3	
	2	58,5	67,4	75,7	49,4		
		53,4		45,8			
S.E.	3	57,6	66,5 ¹	69,7	73,8 ²	51,4	55,6 ²
		69,2		77,8		59,8	
Mensagem Sonora	1	70,6	69,7 ¹	79,1	78,7 ²	54,1	51,0 ²
		71,0		82,4		52,6	
		66,2		75,7		48,3	
		62,9		73,5		49,4	
	2	72,1	83,0	50,6			

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética; S.E. – Sala de Espera

Legenda:  Mercadorias ou Locomotiva a Diesel

O ruído de passagem médio, calculado pela média logarítmica, do nível sonoro contínuo equivalente é de 91,0 dB(A), enquanto que a média aritmética para os níveis sonoros máximo e mínimo é de 92,2 e 58,9 dB(A), respetivamente. Estes valores estão condicionados pelo tipo de comboio e tamanho de composição, sendo que a locomotiva é de menor tamanho e produz menor ruído, também o peso da tara e velocidade de circulação podem estar relacionados com a diferença entre as duas medições dos comboios de mercadorias.

O ruído ambiente médio do nível sonoro contínuo equivalente, média logarítmica, é de 65,5 dB(A), já o ruído ambiente médio, média aritmética dos níveis sonoros máximo e mínimo é de 73,5 e 46,3 dB(A), nessa mesma ordem. As diferenças apresentadas estão relacionadas com o ruído proveniente da distinta circulação de passageiros em cada medição.

O ruído médio produzido na sala de espera, calculado através da média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente é de 66,5 dB(A). Os valores máximo e mínimo, calculados pela média aritmética, são de 73,8 e 55,6 dB(A), respetivamente. As diferenças nas medições estão relacionadas com a diferente circulação de pessoas na sala.

A média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído produzido pela mensagem sonora é de 69,7 dB(A) enquanto que a média aritmética para os níveis sonoros máximo e mínimo é de 78,7 e 51,0 dB(A), por essa ordem. Tal como acontece no ruído ambiente e ruído existente na sala de espera as presentes diferenças estão relacionadas com a diferente circulação de passageiros.

Realizada a análise destes quatro ruídos tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo será elaborada uma avaliação destes ruídos tendo em conta os níveis sonoros estatísticos, cujos valores estão presentes no Quadro 6.19.

Quadro 6.19 - Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de passagem, ruído ambiente, ruído existente na sala de espera e mensagem sonora na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.

Ruído	Estação Ferroviária das Devesas (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Passagem	2	89,0	88,2 ¹	85,5	81,8 ¹	68,0	62,8 ¹
		97,2		95,0		64,5	
		78,5		65,0		56,0	
Ruído Ambiente	1	59,5	59,3 ¹	50,0	51,7 ¹	46,5	48,4 ¹
		61,5		52,0		47,5	
		57,0		51,5		48,5	
		60,0		53,5		50,0	
	2	61,0	53,5	51,0			
		56,5	49,5	47,0			
S.E.	3	60,5	66,8 ¹	55,5	61,0 ¹	53,0	58,0 ¹
		73,0		66,5		63,0	
Mensagem Sonora	1	73,5	72,2 ¹	69,0	65,0 ¹	61,5	54,7 ¹
		75,0		67,0		55,0	
		69,5		64,5		51,5	
		66,5		59,5		52,5	
	2	76,5	65,0	53,0			

. 1- Média Aritmética; S.E. – Sala de Espera

Legenda:  Mercadorias ou Locomotiva a Diesel

O ruído de passagem médio, calculado pela média aritmética, para os níveis sonoros estatísticos é de 88,2 dB para o LA10, 81,8 dB para o LA50 e 62,8 dB para a LA90, sendo estes valores dependentes dos fatores enunciados anteriormente.

O ruído ambiente médio, calculado pela média aritmética, para os níveis sonoros estatísticos é de 59,3 dB para o LA10, 71,7 dB para o LA50 e 48,4 dB para o LA90, e tal como o ruído de passagem dos comboios estão relacionados com os fatores enunciados anteriormente.

O ruído médio existente na sala de espera é de 66,8 dB para o LA10, 61,0 dB para o LA50 e 58,0 dB para o LA90, sendo que as diferenças estão dependentes da maior ou menor circulação de passageiros.

O ruído médio produzido pela mensagem sonora é de 72,2 dB para o LA10, 65,0 dB para o LA50 e 54,7 dB para o LA90, e tal como o ruído da sala de espera está relacionado com a circulação de pessoas.

O quadro seguinte contém as médias de cada parâmetro estudado nesta estação para cada tipo de ruído, sendo que para o nível sonoro contínuo equivalente, LAeq, a média é logarítmica para os restantes a média é aritmética.

Quadro 6.20 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária das Devesas, em Vila Nova de Gaia.

		Tipos de Ruído							
		RCHG	RPAR	RCP	REST	RPAS	MS	RSE	RAMB
Níveis Sonoros (dB)	L _{Aeq}	83,4	74,7	75,9	X ¹	91,0	69,7	66,5	56,5
	L _{A10}	82,5	76,0	78,0	X ¹	88,2	72,2	66,8	59,3
	L _{A50}	74,5	73,3	69,7	X ¹	81,8	65,0	61,0	51,7
	L _{A90}	65,3	64,1	64,7	X ¹	62,8	54,7	58,0	48,4
	L _{Amax}	87,0	82,5	88,7	X ¹	92,2	78,7	73,8	73,5
	L _{Amin}	61,0	60,8	61,0	X ¹	58,9	51,0	55,6	46,3
	ΔL_A	25,9	21,7	27,7	X ¹	33,3	27,7	18,2	27,2

. 1- Este tipo de ruído não foi avaliado nesta estação; RCHG – Ruído de Chegada; RPAR – Ruído de Partida; RCP – Ruído da Chegada à Partida; REST – Ruído do Comboio Estacionado; MS – Mensagem Sonora; RSE – Ruído da Sala de Espera; RAMB – Ruído Ambiente

6.1.6. ESTAÇÃO FERROVIÁRIA DE ESPINHO (FE)

O modo de funcionamento e constituição da estação ferroviária de Espinho permitiu analisar os seguintes ruídos: ruído de chegada, ruído de partida, ruído da chegada à partida, ruído de passagem e ruído ambiente, sendo que os primeiros quatro tipos são influenciados pelo tipo de tamanho de composição. Salientar o facto de como esta estação ser subterrânea isto provoca diferentes situações nos ruídos, nomeadamente, o intensificar de ruído produzido pelos comboios (maior campo reverberado) e o suavizar do ruído ambiente.

Numa primeira fase irá ser avaliado os ruídos de chegada, de partida e de chegada e de partida tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo cujos valores estão presentes no Quadro 6.21.

O ruído de chegada médio medido pelo nível sonoro contínuo equivalente e calculado pela média logarítmica é de 78,4 dB(A), já os níveis sonoros máximo e mínimo, calculados pela média aritmética, são de 82,1 e 61,7 dB(A), respetivamente, sendo estes valores inflacionados pelo tipo e tamanho da composição e pelo facto de ser uma estação subterrânea.

O ruído de partida médio para o nível sonoro contínuo equivalente é de 76,3 dB(A), calculado pela média logarítmica, os valores médios máximo e mínimo são de 80,7 e 69,0 dB(A), nessa mesma ordem. Estes valores, tal como acontece no ruído de chegada são influenciados pelo tipo e tamanho da composição e pelo facto de ser uma estação subterrânea.

A média logarítmica do ruído da chegada à partida do nível sonoro contínuo equivalente é de 76,3 dB(A) e a média aritmética dos valores máximos e mínimos é de 82,2 e 62,5 dB(A), por essa ordem. Tal como nos ruídos anteriores os valores são influenciados pelos mesmos fatores.

Terminada a avaliação destes ruídos para o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo irá se proceder a análise destes ruídos, mas com base nos níveis sonoros estatísticos, cujos valores estão presentes no Quadro 6.22.

O ruído de chegada médio para os níveis sonoros estatísticos é de 79,9 dB para o L_{A10}, 75,6 dB para o L_{A50} e 65,1 dB para o L_{A90}. O ruído de partida médio para os níveis sonoros estatísticos é de 78,1 dB para o L_{A10}, 73,6 dB para o L_{A50} e 71,2 dB para o L_{A90}. O ruído da chegada à partida médio para os níveis

sonoros estatísticos é de 77,3 dB para o L_{A10} , 74,5 dB para o L_{A50} e 70,5 dB para o L_{A90} . Estes valores para os três tipos de ruídos estão dependentes dos mesmos factos existentes no nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

Quadro 6.21 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Espinho.

Ruído	Estação Ferroviária de Espinho (dB)						
	Pontos	L_{Aeq}	Média	$L_{Amáx}$	Média	L_{Amin}	Média
Ruído de Chegada	1	73,4	78,3 ¹	79,7	82,1 ²	57,0	61,7 ²
		71,6		76,7		57,2	
		84,1		91,4		70,2	
	76,5	83,7		63,1			
	2	77,3		81,5		63,4	
		76,6		81,1		61,4	
76,2		80,5	59,3				
Ruído de Partida	1	74,6	76,3 ¹	77,7	80,7 ²	71,3	69,0 ²
		74,9		78,4		69,5	
		72,9		78,7		65,8	
	74,7	78,7		66,4			
	2	80,4		89,3		73,8	
		74,6		81,3		65,4	
77,0		81,0	70,6				
Ruído da Chegada à Partida	1	74,9	75,5 ¹	80,6	82,2 ²	59,4	62,5 ²
		74,0		80,4		62,4	
		75,9		79,9		64,6	
		74,5		79,4		67,8	
	2	75,3		80,4		63,4	
		76,0		80,5		70,3	
		76,4		83,1		47,6	
		73,3		79,1		65,6	
		75,5		81,0		69,0	
		73,4		79,8		51,0	
		77,4		92,0		64,3	
		75,1		82,5		59,0	
77,7	90,4	67,5					

. 1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética

Legenda:  Alfa Pendular (CPA 4000)

 Intercidades (LOC 5600)

 Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)

Quadro 6.22 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e de chegada e de partida dos comboios na estação ferroviária de Espinho.

Ruído	Estação Ferroviária de Espinho (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Chegada	1	77,5	79,9 ¹	72,0	75,6 ¹	61,5	65,1 ¹
		74,5		71,5		59,5	
		88,0		81,5		73,0	
		81,0		74,5		65,0	
	2	80,0	77,0	67,5			
		79,0	76,5	64,5			
Ruído de Partida	1	75,5	78,1 ¹	74,0	73,6 ¹	73,0	71,2 ¹
		77,0		74,5		71,0	
		76,5		69,0		67,5	
		76,5		74,5		70,0	
	2	84,5	76,0	74,5			
		78,5	71,0	68,5			
Ruído da Chegada à Partida	1	76,5	77,3 ¹	74,5	74,5 ¹	69,5	70,5 ¹
		75,5		73,5		68,0	
		78,0		75,5		71,5	
		76,5		74,0		72,0	
	2	76,5		75,0		73,5	
		77,0		75,5		74,0	
		79,5		73,5		70,0	
		76,5		70,5		69,0	
		77,5		74,0		71,5	
		74,5		73,0		66,5	
		80,5		78,0		68,5	
		77,0		75,0		69,0	
79,5	76,5	73,5					

.1 – Média Aritmética

Legenda:

Alfa Pendular (CPA 4000)
 Intercidades (LOC 5600)

Suburbano (UME 3400 e UTE 2240)

Realizada a análise destes três ruídos, nesta fase irá se proceder a avaliação dos restantes ruídos tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo, cujos valores podem ser visualizados no Quadro 6.23.

Quadro 6.23 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de passagem dos comboios e ruído ambiente na estação ferroviária de Espinho.

Ruído	Estação Ferroviária de Espinho (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amáx}	Média	L _{Amín}	Média
Ruído de Passagem	1	96,7	91,1 ¹	100,2	93,6 ²	85,8	70,7 ²
		90,0		94,6		77,3	
		91,2		98,2		63,0	
		81,0		88,6		70,3	
	2	84,6	90,9	61,6			
		84,3	89,2	66,2			
Ruído Ambiente	1	45,7	48,5 ¹	59,2	62,7 ²	38,9	37,7 ²
		43,6		57,8		35,4	
	2	44,3		59,8		34,5	
		49,9		66,9		37,5	
		51,7		63,9		37,7	
	3	49,7		68,3		42,0	

.1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética

Legenda:  Alfa Pendular (CPA 4000)  Intercidades (LOC 5600)

A média logarítmica do ruído de passagem dos comboios medido pelo nível sonoro contínuo equivalente é de 91,1 dB(A) e a média aritmética dos valores máximos e mínimos é de 93,6 e 70,7 dB(A), respetivamente. Estes valores estão dependentes do tipo e tamanho da composição, comboios de mercadorias mais ruidosos e maiores, e pela influência de ser uma estação subterrânea.

O ruído ambiente médio, medido pelo nível sonoro contínuo equivalente e calculado pela média logarítmica é de 48,5 dB(A), os valores médios máximos e mínimos, calculados pela média aritmética, são de 62,7 e 37,7 dB(A), nessa mesma ordem, sendo estes valores suavizados por ser uma estação subterrânea.

Após a análise destes ruídos tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo será feita uma avaliação destes ruídos tendo em conta os níveis sonoros estatísticos cujos valores estão presentes no Quadro 6.24.

A média aritmética do ruído de passagem dos comboios é de 91,3 dB para o L_{A10}, 86,1 dB para o L_{A50} e 76,3 dB para o L_{A90}. O ruído ambiente médio para os níveis sonoros estatísticos, calculado pela média aritmética, é de 49,8 dB para o L_{A10}, 44,8 dB para o L_{A50} e 41,1 dB para o L_{A90}. Estes valores estão dependentes dos mesmos fatores destes ruídos para o nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

Quadro 6.24 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de passagem dos comboios e ruído ambiente na estação ferroviária de Espinho.

Ruído	Estação Ferroviária de Espinho (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Passagem	1	98,5	91,3 ¹	97,0	86,1 ¹	87,5	76,3 ¹
		92,0		90,0		82,0	
		96,0		88,5		80,0	
		85,5		77,5		72,5	
	2	88,0	83,5	66,5			
		88,0	80,0	69,5			
Ruído Ambiente	1	47,5	49,8 ¹	44,0	44,8 ¹	40,5	41,1 ¹
		45,5		41,5		38,5	
	2	46,5		41,5		37,5	
		52,5		45,0		40,5	
		55,0		49,0		44,5	
	3	51,5		47,5		45,0	

.1- Média Logarítmica

Legenda:  Alfa Pendular (CPA 4000) Intercidades ou Locomotiva a Diesel

O quadro seguinte contém as médias de cada parâmetro estudado nesta estação para cada tipo de ruído, sendo que para o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , a média é logarítmica para os restantes a média é aritmética.

Quadro 6.25 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação ferroviária de Espinho.

Níveis Sonoros (dB)		Tipos de Ruído							
		RCHG	RPAR	RCP	REST	RPAS	MS	RSE	RAMB
Níveis Sonoros (dB)	LAeq	78,4	76,3	75,5	X ¹	91,1	X ¹	X ¹	48,5
	LA10	79,9	78,1	77,3	X ¹	91,3	X ¹	X ¹	49,8
	LA50	75,6	73,6	74,5	X ¹	86,1	X ¹	X ¹	44,8
	LA90	65,1	71,2	70,5	X ¹	76,3	X ¹	X ¹	41,1
	LAmáx	82,1	80,7	82,2	X ¹	93,6	X ¹	X ¹	62,7
	LAmín	61,7	69,0	62,5	X ¹	70,7	X ¹	X ¹	37,7
	ΔLA	20,4	11,8	19,8	X ¹	22,9	X ¹	X ¹	25,0

.1- Este tipo de ruído não foi avaliado nesta estação; RCHG – Ruído de Chegada; RPAR – Ruído de Partida; RCP – Ruído da Chegada à Partida; REST – Ruído do Comboio Estacionado; MS – Mensagem Sonora; RSE – Ruído da Sala de Espera; RAMB – Ruído Ambiente

6.1.7. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DA CASA DA MÚSICA (RCM)

O modo de funcionamento e constituição da estação rodoviária da Casa da Música permitiu avaliar o ruído de chegada, o ruído de partida, o ruído da chegada á partida, o ruído dos autocarros estacionados, o ruído de passagem e o ruído ambiente, sendo que todos os ruídos exceto o ruído ambiente estão influenciados pelo tipo de empresa do autocarro, dado que o tamanho do veículo ao contrário do que acontece com os comboios é muito semelhante. Salientar o facto de nesta estação existir um ruído urbano elevado devido ao facto de este se situar numa das zonas mais movimentadas da cidade do Porto. Além disso as medições podem ser influenciadas pelo ruído produzido pelo metro na estação subterrânea subjacente á estação.

No Quadro 6.26 estão presentes os valores do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e da chegada á partida dos autocarros.

O ruído de chegada tem como média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente 70,1 dB(A) e como média aritmética 75,5 dB(A) para o nível sonoro máximo e 63,8 dB(A) para o nível sonoro mínimo. Neste tipo de ruído dado que autocarros avaliados são do mesmo tipo as diferenças estão relacionadas com o diferente ruído devido á velocidade e conseqüente uso dos travões, que são diferentes tendo em conta a posição de cada paragem e respetivo local de medição na perspetiva geral da paragem.

A média logarítmica do ruído de partida para o nível sonoro contínuo equivalente é de 75,0 dB(A) enquanto que a média aritmética para os valores médios dos níveis sonoros máximo e mínimo são de 81,0 e 68,2 dB(A), respetivamente. Neste tipo de ruído as diferenças para além daquelas enunciadas no ruído de chegada estão relacionadas com o tipo de autocarro, geralmente os da empresa Espírito Santo são mais ruidosos que os da STCP. De salientar o facto de o momento de partida ser mais ruidoso que o momento de chegada devido ao maior uso do motor dos autocarros no momento de arranque, sendo que é inverso ao que acontece na generalidade das estações ferroviárias em que o ruído de chegada é superior ao ruído de partida.

O ruído da chegada á partida tem uma média logarítmica de 72,6 dB(A) para o nível sonoro contínuo equivalente e uma média aritmética de 80,8 e 66,8 dB(A) para o nível sonoro máximo e mínimo, respetivamente. As diferenças entre os valores dependem do tipo de autocarro, dos diferentes intervalos de tempo entre a chegada e partida, onde há a predominância de menores ruídos e da diferente velocidade de chegada devido á localização da paragem na estação.

Realizada a análise do ruído de chegada, de partida e da chegada á partida face ao nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo será elaborada uma avaliação destes três ruídos tendo em conta os níveis sonoros estatísticos, L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} , cujos valores podem ser visualizados no Quadro 6.27.

O ruído de chegada tem como média aritmética 71,3 dB para o nível sonoro estatístico L_{A10} , 67,1 dB para o nível sonoro estatístico L_{A50} e 64,9 dB para o nível sonoro estatístico L_{A90} . A média aritmética do ruído de partida para os níveis sonoros estatísticos é de 77,0 dB para o L_{A10} , 72,1 dB para o L_{A50} e 69,3 dB para o L_{A90} . O ruído da chegada á partida dos autocarros tem como valores médios para os níveis sonoros estatísticos, calculados com base na média aritmética, 73,7 dB para o L_{A10} , 69,8 dB para o L_{A50} e 67,7 dB para o L_{A90} . Estes valores médios para os ruídos em análise estão condicionados pelos fatores enunciados para estes ruídos, mas medidos pelo nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

Quadro 6.26 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de chegada, de partida e da chegada à partida dos autocarros na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.

Ruído	Estação Rodoviária da Casa da Música (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amax}	Média	L _{Amin}	Média
Ruído de Chegada	2	63,1	70,1 ¹	69,7	75,5 ²	56,5	63,8 ²
		69,4		76,4		63,3	
	3	70,9		74,7		66,2	
		66,7		71,6		61,4	
		71,1		77,4		65,8	
		73,7		86,6		67,0	
		68,9		71,8		66,1	
Ruído de Partida	1	76,4	75,0 ¹	86,7	81,0 ²	66,2	68,2 ²
		73,6		79,0		64,9	
		76,4		80,3		71,5	
	2	70,4		80,3		66,3	
		77,4		86,2		71,3	
	3	72,2		76,6		65,7	
		74,7		77,8		71,6	
Ruído da Chegada à Partida	1	74,4	72,6 ¹	86,2	80,0 ²	64,8	66,8 ²
		71,7		82,3		65,3	
		77,1		97,0		69,2	
	2	71,2		81,5		64,1	
		70,3		73,2		68,3	
		73,0		78,1		69,6	
	3	71,7		79,5		67,9	
		71,0		75,7		63,6	
		73,0		80,3		70,6	
		73,7		75,8		71,5	
	4	71,1		76,5		65,2	
		67,7		73,8		63,7	
		69,7		79,8		64,7	

.1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética

Legenda:  Empresa Resende

 Empresa Espírito Santo

 Empresa STCP

Quadro 6.27 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de chegada, de partida e da chegada á partida dos autocarros na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.

Ruído	Estação Rodoviária da Casa da Música (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído de Chegada	2	66,5	71,3 ¹	61,0	67,1 ¹	58,0	64,9 ¹
		72,5		68,0		64,5	
	3	72,5		70,5		67,5	
		68,0		66,5		63,0	
		75,0		65,8		67,0	
		74,0		69,5		67,5	
		70,5		68,5		66,5	
Ruído de Partida	1	80,0	77,0 ¹	71,0	72,1 ¹	67,0	69,3 ¹
		77,5		70,0		66,5	
		79,0		75,5		73,0	
	2	70,0		68,5		67,5	
		80,5		75,5		72,5	
	3	76,0		69,5		66,0	
		76,0		74,5		72,5	
Ruído da Chegada à Partida	1	77,5	73,7 ¹	69,5	69,8 ¹	66,0	67,7 ¹
		72,5		70,0		68,5	
		75,0		66,5		62,0	
	2	72,5		70,0		67,0	
		71,5		69,5		69,0	
		74,5		72,5		71,0	
	3	73,0		71,0		69,5	
		74,0		69,5		66,0	
		75,0		72,0		71,5	
		74,5		73,5		72,5	
	4	74,0		69,5		66,5	
		71,5		65,5		64,5	
		72,0		69,0		65,5	

.1- Média Aritmética

Legenda:  Empresa Resende  Empresa Espírito Santo
 Empresa STCP

Realizada a caracterização individual da estação tendo em conta o ruído de chegada, de partida e da chegada á partida irá se proceder á avaliação do ruído dos autocarros estacionados, ruído de passagem e ruído ambiente. No Quadro 6.28 estão presentes os valores do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para estes ruídos.

Quadro 6.28 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído dos autocarros estacionados, ruído de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.

Ruído	Estação Rodoviária da Casa da Música (dB)						
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amáx}	Média	L _{Amín}	Média
Ruído do Autocarro Estacionado	4	66,0	71,3 ¹	79,8	78,1 ²	60,5	66,6 ²
		70,1		73,8		67,1	
	5	72,5		78,1		68,5	
		73,6		79,6		71,3	
		70,8		79,2		65,8	
R. P.	4	71,8	73,1 ¹	79,3	81,5 ²	63,4	63,9 ²
		74,1		83,6		64,4	
Ruído Ambiente	1	60,6	67,1 ¹	71,1	76,1 ²	54,4	57,4 ²
	2	65,7		75,8		58,2	
		62,7		73,7		55,0	
	3	64,1		70,6		56,2	
		66,6		78,1		57,2	
	5	72,3		87,4		63,2	

.1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética; R.P. – Ruído de Passagem

Legenda:



Empresa STCP



Empresa InterNorte

O ruído do autocarro estacionado apresenta uma média logarítmica de 71,3 dB(A) para o nível sonoro contínuo equivalente e uma média aritmética de 78,1 dB(A) para o nível sonoro máximo e 66,6 dB(A) para o nível sonoro mínimo. Estes valores são influenciados pelo diferente tipo de autocarro, sendo os da empresa InterNorte de maior porte e por consequente maior ruído produzido pelo motor do autocarro.

O ruído de passagem tem uma média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente de 73,1 dB(A) e uma média aritmética de 81,5 e 63,9 dB(A) para o nível sonoro máximo e mínimo, nessa mesma ordem. A diferença entre os valores está relacionada com a diferente velocidade de circulação ou maior presença de passageiros na estação.

O ruído ambiente médio é de 67,1(A) para o nível sonoro contínuo equivalente e calculado pela média logarítmica, já os ruídos ambiente médio para os níveis sonoros máximo e mínimo são de 76,1 e 57,4 dB(A), respetivamente. Estes valores estão dependentes da diferente circulação de passageiros e da influência do ruído produzido pelo metro na estação subterrânea.

Após a análise dos ruídos do autocarro estacionado, de passagem e ruído ambiente com base nos níveis sonoros máximo e mínimo e nível sonoro contínuo equivalente será realizada uma avaliação destes ruídos tendo em conta os níveis sonoros estatísticos de percentil 10, 50 e 90, cujos valores estão expostos no Quadro 6.29.

Quadro 6.29 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído dos autocarros estacionados, ruído de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.

Ruído	Estação Rodoviária da Casa da Música (dB)						
	Pontos	LA10	Média	LA50	Média	LA90	Média
Ruído do Autocarro Estacionado	4	67,5	72,4 ¹	64,5	69,3 ¹	62,5	68,0 ¹
		72,0		69,0		67,5	
	5	74,0		71,5		70,5	
		74,5		73,0		72,5	
		74,0		68,5		67,0	
	R. P.	4		74,5		76,8 ¹	
77,5			69,5	66,0			
Ruído Ambiente	1	64,5	68,1 ¹	58,5	63,0 ¹	56,0	59,6 ¹
	2	68,5		64,0		61,0	
		65,0		59,5		56,5	
	3	67,5		63,0		58,0	
		69,0		65,0		60,5	
	5	74,0		68,0		65,5	

. 1- Média Aritmética; R.P. – Ruído de Passagem

Legenda:  Autocarro da empresa STCP  Autocarro da empresa InterNorte

A média aritmética do ruído do autocarro estacionado para os níveis sonoros estatísticos é de 72,4 dB para o LA10, 69,3 dB para o LA50 e 68,0 dB para o LA90. O ruído de passagem tem uma média aritmética de 76,8 dB para o LA10, 69,3 dB para o LA50 e 66,8 dB para o LA90. O ruído ambiente apresenta uma média aritmética de 68,1 dB para o LA10, 63,0 dB para o LA50 e 59,6 dB para o LA90. Estes valores estão relacionados com os valores referidos para estes ruídos, mas medidos pelo nível sonoro equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

O quadro seguinte contém as médias de cada parâmetro estudado nesta estação para cada tipo de ruído, sendo que para o nível sonoro contínuo equivalente, LAeq, a média é logarítmica para os restantes a média é aritmética.

Quadro 6.30 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação rodoviária da Casa da Música, na Boavista, no Porto.

		Tipos de Ruído							
		RCHG	RPAR	RCP	REST	RPAS	MS	RSE	RAMB
Níveis Sonoros (dB)	L _{Aeq}	70,1	75,0	72,6	71,3	73,1	X ¹	X ¹	67,1
	L _{A10}	71,3	77,0	73,7	72,4	76,8	X ¹	X ¹	68,1
	L _{A50}	67,1	72,1	69,8	69,3	69,3	X ¹	X ¹	63,0
	L _{A90}	64,9	69,3	67,7	68,0	66,8	X ¹	X ¹	59,6
	L _{Amax}	75,5	81,0	80,0	78,1	81,5	X ¹	X ¹	76,1
	L _{Amin}	63,8	68,2	66,8	66,6	63,9	X ¹	X ¹	57,4
	ΔL_A	11,7	12,8	13,2	11,5	17,6	X ¹	X ¹	18,8

.1- Este tipo de ruído não foi avaliado nesta estação; RCHG – Ruído de Chegada; RPAR – Ruído de Partida; RCP – Ruído da Chegada à Partida; REST – Ruído do Comboio Estacionado; MS – Mensagem Sonora; RSE – Ruído da Sala de Espera; RAMB – Ruído Ambiente

6.1.8. ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DO PARQUE DAS CAMÉLIAS (RPC)

O modo de funcionamento e constituição da estação rodoviária do Parque das Camélias permitiu analisar o ruído de partida, o ruído do autocarro estacionado, ruído de passagem e o ruído ambiente, sendo que os primeiros três tipos estão condicionados pelo tipo de autocarro. A localização desta estação na zona da Batalha faz com que as medições tenham em consideração o ruído proveniente da via circulação situada na zona frontal da estação, além do facto de como funcionar como uma estação terminal as medições poderem estar condicionais pelo ruído produzido pelo motor do autocarro enquanto está parado na zona de estacionamento da estação. Esta estação apresenta menos tipos de ruídos que as restantes dado que a situação de chegada não é avaliada, porque o acesso dos autocarros à paragem é efetuada numa marcha lenta dado que eles já se encontram na estação, para além de que ruídos como o existente na sala de espera e o produzido pela mensagem sonora não existem.

No Quadro 6.31 estão expostos os valores das medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para todos os ruídos avaliados nesta estação.

O ruído de partida tem como média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente um valor de 74,4 dB(A) e uma média aritmética para o nível sonoro máximo de 77,8 dB(A) e nível sonoro mínimo de 66,0 dB(A), sendo que estes valores estão condicionados pelo tipo de autocarro pertencente as empresas avaliadas.

O ruído do autocarro estacionado apresenta uma média logarítmica de 68,0 dB(A) para o nível sonoro contínuo equivalente e uma média aritmética de 72,7 e 64,9 dB(A) para o nível sonoro máximo e mínimo, respetivamente, sendo que, tal como acontece no ruído de partida, estão inflacionados pelo tipo de autocarro, os da empresa InterNorte são de maior porte e por consequente mais ruidosos.

O ruído de circulação dos autocarros na estação sem efetuarem paragem (ruído de passagem) tem uma média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente de 67,6 dB(A) e uma média aritmética de 74,9 e 64,7 dB(A) para o nível sonoro máximo e mínimo, nessa mesma ordem. Como os autocarros são do mesmo tipo as diferenças entre os valores estão relacionadas com o diferente ruído residual devido a circulação de veículos na via próxima e com a diferente velocidade de circulação do autocarro e respetivo ruído.

A média logarítmica do ruído ambiente para o nível sonoro contínuo equivalente é de 65,2 dB(A) e a média aritmética dos níveis sonoros máximo e mínimo é de 74,9 e 60,9 dB(A), respetivamente. O ruído ambiente é condicionado pela circulação de passageiros na estação, pela diferente circulação de veículos na via de circulação próxima e pela maior ou menor exposição das medições ao ruído dos autocarros estacionados na estação.

Quadro 6.31 – Medições do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo para o ruído de partida, dos autocarros estacionados, de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária do Parque das Camélias, na Batalha, no Porto.

Ruído	Estação Rodoviária do Parque das Camélias (dB)										
	Pontos	L _{Aeq}	Média	L _{Amáx}	Média	L _{Amín}	Média				
Ruído de Partida	1	67,3	74,4 ¹	73,5	77,8 ²	61,2	66,0 ²				
		75,5		79,5		64,4					
		70,6		78,7		65,0					
	2	74,9		79,3		67,4					
		72,9		81,5		66,8					
	3	79,4		83,7		72,7					
		66,6		68,2		64,6					
	Ruído de Autocarro Estacionado	1		70,2		68,0 ¹		73,4	72,7 ²	65,4	64,9 ²
				67,7				72,6		65,0	
2		66,7	76,3	63,9							
		66,8	72,0	64,7							
3		67,3	69,2	65,4							
R. P.	1	68,3	67,6 ¹	75,0	74,9 ²	66,0	64,7 ²				
		66,8		74,7		63,4					
Ruído Ambiente	1	63,6	65,2 ¹	78,2	74,9 ²	58,3	60,9 ²				
		65,7		75,4		61,9					
	2	63,3		78,3		58,6					
		64,6		75,0		60,1					
	3	66,5		70,3		63,8					
		66,2		72,0		62,6					

.1- Média Logarítmica; 2- Média Aritmética; R.P. – Ruído de Passagem

Legenda:

 Empresa Av. Tâmega	 Empresa Espírito Santo
 Empresa MGC	 Empresa Transdev

No Quadro 6.32 podem ser visualizados os valores dos níveis sonoros estatísticos, L_{A10}, L_{A50} e L_{A90} para os quatro tipos de ruídos existentes nesta estação.

Os valores médios dos níveis sonoros estatísticos do ruído de partida, calculados pela média aritmética, são de 75,1 dB para o L_{A10}, 71,1 dB para o L_{A50} e 67,8 dB para o L_{A90}. O ruído do autocarro estacionado

apresenta uma média aritmética de 69,0 dB para o L_{A10} , 67,0 dB para o L_{A50} e 65,7 dB para o L_{A90} . O ruído de passagem tem um valor médio do L_{A10} de 68,5 dB, de 66,8 dB para o L_{A50} e 66,3 dB para o L_{A90} , sendo estes valores calculados pela média aritmética. O ruído ambiente tem uma média aritmética de 66,4 dB para o nível sonoro estatístico L_{A10} , de 63,3 dB para o nível sonoro estatístico L_{A50} e 61,6 dB para o nível sonoro estatístico L_{A90} . Os valores dos níveis sonoros estatísticos destes ruídos estão dependentes das mesmas situações referenciadas para estes ruídos, mas avaliadas pelo nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros máximo e mínimo.

Quadro 6.32 – Medições dos níveis sonoros estatísticos para o ruído de partida, dos autocarros estacionados, ruído de passagem e ruído ambiente na estação rodoviária do Parque das Camélias, na Batalha, no Porto,

Ruído	Estação Rodoviária do Parque das Camélias (dB)										
	Pontos	L_{A10}	Média	L_{A50}	Média	L_{A90}	Média				
Ruído de Partida	1	70,5	75,1 ¹	65,5	71,1 ¹	63,0	67,8 ¹				
		78,0		75,0		66,5					
		74,0		68,0		66,0					
	2	78,0		74,0		71,0					
		77,0		69,5		68,0					
	3	81,5		79,0		74,5					
		67,0		66,5		65,5					
	Ruído de Autocarro Estacionado	1		72,0		69,0 ¹		69,5	67,0 ¹	66,5	65,7 ¹
				69,5				66,5		65,5	
2		67,0	66,0	65,5							
		68,5	66,0	65,0							
3		68,0	67,0	66,0							
R. P.	1	69,5	68,5 ¹	67,5	66,8 ¹	67,0	66,3 ¹				
		67,5		66,0		65,5					
Ruído Ambiente	1	63,5	66,4 ¹	60,5	63,3 ¹	59,0	61,6 ¹				
		68,0		63,5		62,5					
	2	64,5		61,0		59,5					
		66,5		63,5		61,0					
	3	68,5		65,5		64,0					
		67,5		65,5		63,5					

.1- Média Logarítmica; R.P. – Ruído de Passagem

Legenda:

 Empresa Av. Tâmega	 Empresa Espírito Santo
 Empresa MGC	 Empresa Transdev

O quadro seguinte contém as médias de cada parâmetro estudado nesta estação para cada tipo de ruído, sendo que para o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , a média é logarítmica para os restantes a média é aritmética.

Quadro 6.33 – Valores das médias dos níveis sonoros para os diferentes tipos de ruído na estação rodoviária do Parque das Camélias, na Batalha, no Porto.

		Tipos de Ruído							
		RCHG	RPAR	RCP	REST	RPAS	MS	RSE	RAMB
Níveis Sonoros (dB)	L _{Aeq}	X ¹	74,4	X ¹	68,0	67,6	X ¹	X ¹	65,2
	L _{A10}	X ¹	75,1	X ¹	69,0	68,5	X ¹	X ¹	66,4
	L _{A50}	X ¹	71,1	X ¹	67,0	66,8	X ¹	X ¹	63,3
	L _{A90}	X ¹	67,8	X ¹	65,7	66,3	X ¹	X ¹	61,6
	L _{Amax}	X ¹	77,8	X ¹	72,7	74,9	X ¹	X ¹	74,9
	L _{Amin}	X ¹	66,0	X ¹	64,9	64,7	X ¹	X ¹	60,9
	ΔL_A	X ¹	11,8	X ¹	7,8	10,2	X ¹	X ¹	14,0

.1- Este tipo de ruído não foi avaliado nesta estação; RCHG – Ruído de Chegada; RPAR – Ruído de Partida; RCP – Ruído da Chegada à Partida; REST – Ruído do Comboio Estacionado; MS – Mensagem Sonora; RSE – Ruído da Sala de Espera; RAMB – Ruído Ambiente

6.2. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE AS ESTAÇÕES DE ESTUDO

6.2.1. INTRODUÇÃO

Realizada a caracterização individual dos vários tipos de ruído nas estações ferroviárias e rodoviárias será efetuado neste subcapítulo para cada ruído avaliado a comparação dos resultados obtidos entre as estações de modo a perceber em qual das infraestruturas existe maior ou menor ruído produzido pelo material circulante e por consequente quais as estações com melhor e pior comportamento acústico (estações em que um utente se encontra mais ou menos exposto ao ruído existente).

6.2.2. RUÍDO DE CHEGADA

No Quadro 6.34 estão presentes os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído de chegada para as estações ferroviárias e rodoviárias.

Analisando o ruído de chegada medido pelo nível sonoro contínuo equivalente a estação com maior valor médio é a estação de Devesas com 83,4 dB(A) e a estação com menor valor médio é a estação da Casa da Música com 70,1 dB(A). A estação de Devesas é a estação com maior valor, apesar do efeito ser atenuado devido a contabilização dos comboios de mercadorias (menos ruidosos na chegada que os comboios de passageiros), dado que as medições foram realizadas mais próximas da fonte sonora que nas restantes estações (menor atenuação por divergência geométrica) e devido há existência de um maior campo reverberado na linha mais próxima do edifício, o que influencia os valores das medições, nomeadamente, nos comboios intercidades e alfa pendulares onde o ruído é mais intenso. A seguir a estação com maior ruído apresentado é a estação de Espinho, como esta é uma estação subterrânea permite uma maior propagação do ruído devido á reflexão das ondas sonoras (campo reverberado) nas superfícies da estação apesar de ter material absorvente na sua constituição, mais especificamente no ruído de chegada dos intercidades. A existência de material absorvente não reduz com grande amplitude o ruído emitido. Este efeito não é tão elevado como o existente na estação de Devesas, pelo que apresenta menos ruído que esta. A estação de Campanhã tem ruído inferior ás anteriores uma vez que não tem um fenómeno condicionante como as restantes, no entanto apresenta mais ruído que as estações de General

Torres, São Bento e Casa da Música devido a ter sido considerado um maior número de comboios ruidosos, nomeadamente comboios inter-regionais. A estação de São Bento apresenta menor valor que a de Campanhã porque o número de comboios mais ruidosos, neste caso, comboio inter-regionais, é inferior não existindo assim tanta influência na média obtida. A estação de General Torres é a estação ferroviária com menor ruído de chegada dado que não foram avaliados os comboios mais ruidosos, não efetuam paragem nesta estação, só sendo avaliado comboios suburbanos menos ruidosos que os restantes comboios de passageiros, nem houve fenómenos que condicionassem as medições. A diferença de valores entre a estação de maior valor médio e a estação de menor valor é de 13,3 dB, devido ao facto de os comboios produzirem, na generalidade dos casos, mais ruído que os autocarros e pelo facto de na estação de Devesas, aquela que apresenta maior ruído, a distância da medição à fonte sonora ter sido inferior e a existência do campo reverberado.

Quadro 6.34 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído de chegada dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Ruído de Chegada nas Estações						Máx - Mín (entre estações)
	Ferroviárias				Rodoviárias		
	FC	FSB	FGT	FD	FE	RCM	
L_{Aeq}	77,2	76,6	72,9	83,4 +	78,4	70,1 -	13,3
L_{A10}	76,9	77,2	75,4	82,5 +	79,9	71,3 -	11,2
L_{A50}	73,0	74,5	70,6	74,5	75,6 +	67,1 -	8,5
L_{A90}	67,9	72,1 +	63,6 -	65,3	65,1	64,9	8,5
L_{Amax}	84,2	83,5	78,1	87,0 +	82,1	75,5 -	11,5
L_{Amin}	64,7	71,0 +	60,2 -	61,0	61,7	63,8	10,8
ΔL_A	19,5	12,4	17,9	25,9 +	20,4	11,7 -	14,2

.FC- Estação Ferroviária de Campanhã; FSB- Estação Ferroviária de São Bento; FGT- Estação Ferroviária de General Torres; FD- Estação Ferroviária das Devesas; FE- Estação Ferroviária de Espinho; RCM- Estação Rodoviária da Casa da Música.

Tendo em conta o nível sonoro estatístico L_{A10} , a estação com maior valor médio e a de Devesas com 82,5 dB(A) e a estação com menor valor médio é a da Casa da Música com 71,3 dB(A). Relativamente ao que foi evidenciado no nível sonoro contínuo equivalente existe apenas uma diferença, neste caso a estação de São Bento apresenta maior valor de L_{A10} que a estação de Campanhã, devido a influência do ruído residual (ruído existente na estação que não é referente ao ruído pelo comboio em avaliação) nas medições aumentando os valores mais baixos da medição, que como são superiores aqueles que são produzidos pelo comboio, sobrepõem-se a estes na medição e ao maior campo reverberado (mais reflexões das ondas sonoras) em comparação com Campanhã. De resto as situações existentes são explicadas pelas mesmas situações referidas no nível sonoro equivalente. A diferença entre as estações de maior e menor valor médio é de 11,2 dB(A) sendo as mesmas estações referenciadas no nível sonoro contínuo equivalente, pelo que as razões evidenciadas para a diferença são as mesmas que se aplicam neste caso, no entanto a diferença é menor porque no caso de Devesas o L_{A10} é menor ao L_{Aeq} , situação rara, mas possível devido há ocorrência de picos máximos nas medições, que influenciam o nível sonoro contínuo equivalente, mas que não se notam no nível sonoro estatístico L_{A10} .

A média aritmética do nível sonoro estatístico L_{A50} é maior na estação de Espinho com 75,6 dB (A) e menor na estação da Casa da Música. Ao contrário dos parâmetros analisados até este momento, neste nível sonoro a estação de Espinho é a que apresenta maior valor devido ao efeito que provoca nas

medições de vido ao facto de ser uma estação subterrânea (por ter um maior campo reverberado, apesar da existência de material absorvente nas superfícies da estação), prolongando assim os maiores ruídos da medição. A estação de São Bento apresenta o mesmo valor da estação de Devesas, devido á contabilização do ruído residual da estação nas medições em detrimento do suposto menor ruído produzido pelos comboios na chegada e por consequente ao maior efeito no campo reverberado, dado que esta estação não tem tratamento acústico. Tirando estes aspetos as situações referidas no nível sonoro contínuo equivalente aplicam-se a este caso. A diferença entre o maior e menor valor para este parâmetros nas estações é de 8,5 dB(A), entre a estação de Espinho e a estação da Casa da Música, sendo que esta diferença está relacionado, para além da situação evidenciada anteriormente, com o facto de os comboios serem mais ruidosos que os autocarros, no entanto a diferença diminui devido a melhor semelhança de produção de ruído para os valores mais baixos numa medição.

O nível sonoro estatístico L_{A90} é condicionado pela maior existência de um ruído residual e por consequente o detrimento dos supostos valores mais baixos do ruído produzido pelo veículo circulante. Neste caso a estação com maior valor médio de L_{A90} é a estação de São Bento e a estação com menor valor é a estação de General Torres. Como foi referenciado anteriormente a estação de São Bento apresenta elevado ruído residual daí que tenha maior valor de L_{A90} . A seguir devido á maior circulação de passageiros e possíveis comboios nas linhas mais afastadas da estação e consequente ruído residual aliado ao maior ruído do motor dos comboios regionais no momento de abertura de portas é a estação de Campanhã a que apresenta segundo maior valor. A seguir a estação de Campanhã é a estação de Devesas e depois a estação de Espinho, que apesar de não tirem elevado ruído residual os fenómenos existentes para cada um dos casos ainda condiciona os valores mais baixos da medição, nomeadamente nos valores dos comboios mais ruidosos, no entanto estes condicionamentos não são tão relevantes como os ruídos residuais das estações de Campanhã e São Bento. A estação da Casa da Música como apresenta um valor razoável de ruído residual acaba por apresentar maior valor de nível sonoro estatístico L_{A90} que a estação de General Torres. Tal como acontece em São Bento e Campanhã, apesar de não ser elevado como no primeiro exemplo, existe um valor considerável de ruído residual daí que apresente maior valor que a estação de General Torres, onde a influência do ruído residual nas medições é reduzida. A estação de São Bento é a que apresenta maior valor médio enquanto que a estação de General Torres apresenta menor, havendo uma diferença de 8,5 dB(A) sendo que a diferença apresentada é devido aos diferentes ruídos residuais nas estações. A diferença apresentada e diferença no L_{A50} apresentam mesmos valores devido á maior influência do ruído residual nas estações em virtude dos ruídos produzidos pelos comboios mais ruidosos.

Os valores máximos em dadas medições podem não estar relacionadas com o ruído produzido pelo material circulante, mas sim com a ocorrência de um evento momentâneo que condicione a medição. Sendo assim a média aritmética é maior na estação de Devesas com 87,0 dB(A) e menor na estação da Casa da Música com 75,5 dB(A). Como já foi referenciado anteriormente a proximidade na estação de Devesas entre o local de medição e a fonte sonora foi menor o que inflaciona os valores daí que apresente maior valor médio de L_{Amax} . A seguir as estações com maior valor são Campanhã e São Bento, nessa mesma ordem, apesar de ambas as estações serem avaliados comboios inter-regionais e inclusive a maior medição para este parâmetro ser registada em São Bento, existe uma medição em Campanhã de um comboio suburbanos que apresenta um valor máximo de 91,8 dB (A) sendo que este valor é relativo á ocorrência de um evento externo que condiciona a média, fazendo com que Campanhã apresente maior média que São Bento. A seguir é a estação de Espinho a que apresenta maior valor, dado que apesar de serem contabilizados comboios mais ruidosos que os suburbanos, daí que apresente maior média que a estação de General Torres, os comboios intercidades não são ruidosos como os inter-regionais. A estação da Casa da Música a que apresenta menor valor dado que o ruído produzido pelos autocarros é inferior aquele que é produzido pelos comboios. A diferença entre a melhor e a pior estação neste parâmetro é

de 11,5 dB(A) sendo semelhante á diferença entre as mesmas estações no L_{A10} e que permite estabelecer uma ligação entre os valores máximos e o L_{A10} , sendo que os motivos para haver esta diferença são os mesmos enunciados para a diferença existente no L_{Aeq} e L_{A10} .

A estação que apresenta maior valor médio para o nível sonoro mínimo é a estação de São Bento com 71,0 dB(A) e a estação com menor valor médio é a de General Torres com 60,2 dB(A), o que denota a influência do ruído residual existente nas estações. A estação de São Bento apresenta maior valor devido ao elevado ruído residual e ao ruído do motor dos comboios inter-regionais e a seguir é a estação de Campanhã devido ao ruído proveniente do compressor dos comboios inter-regionais. A seguir a estas estações ferroviárias é a estação da Casa da Música que apresenta maior valor devido ao elevado ruído residual existente, no entanto inferior aquele que se sente na estação de São Bento. As últimas três estações as diferenças são relativas ao facto de o valor médio na estação de Espinho ser inflacionado pelos comboios mais ruidoso, no entanto ao contrário de Devesas o valor não é amortizado pela avaliação de comboios de mercadorias que apresentam menores valores que os comboios de passageiros, a estação de General Torres apresenta o menor valor dado que não foram avaliados comboios mais ruidosos nem existe um elevado ruído residual. A diferença entre as estações de maior e menor valor é de 10,8 dB(A), estando associadas às estações com maior e menor ruído residual.

Relativamente a diferença entre os valores máximos e mínimos nas medições, o valor maior está presente na estação de Devesas, com 25,9 dB(A) e o menor na estação da Casa da Música, com 11,7 dB(A). A estação de Devesas apresenta maior valor devido ao contraste entre os maiores valores devido a inflação provocada pela proximidade á fonte sonora e o baixo ruído residual existente na estação já a estação da Casa da Música é devido ao menor ruído produzido pelos autocarros face aos comboios. É importante realçar o valor baixo na estação de São Bento que traduz a influência do ruído residual. A diferença entre as estações é de 14,2 dB(A) devido aos vários motivos anteriormente referidos.

6.2.3. RUÍDO DE PARTIDA

No Quadro 6.35 estão presentes os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído de partida para as estações ferroviárias e rodoviárias.

Quadro 6.35 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído de partida dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Ruído de Partida nas Estações							Máx - Mín (entre estações)
	Ferroviárias				Rodoviárias			
	FC	FSB	FGT	FD	FE	RCM	RPC	
L_{Aeq}	75,7	76,8 +	73,1 -	74,7	76,3	75,0	74,4	3,7
L_{A10}	75,9	77,5	74,9 -	76,0	78,1 +	77,0	75,1	3,2
L_{A50}	73,1	75,9 +	71,4	73,3	73,6	72,1	71,1 -	4,8
L_{A90}	67,6	74,4 +	66,3	64,1 -	71,2	69,3	67,8	10,3
$L_{Amáx}$	79,5	79,4	77,5 -	82,5 +	80,7	81,0	77,8	5,0
L_{Amin}	64,2	73,5 +	62,3	60,8 -	69,0	68,2	66,0	12,7
ΔL_A	15,3	5,8 -	15,2	21,7 +	11,8	12,8	11,8	15,9

.FC- Estação Ferroviária de Campanhã; FSB- Estação Ferroviária de São Bento; FGT- Estação Ferroviária de General Torres; FD- Estação Ferroviária das Devesas; FE- Estação Ferroviária de Espinho; RCM- Estação Rodoviária da Casa da Música; RPC- Estação rodoviária do Parque das Camélias

A forma de como é realizada o movimento de partida, ruído mais intenso na parte quando o comboio inicia a marcha propriamente dita faz com que na generalidade dos casos o ruído de partida seja inferior ao ruído de chegada. Tendo em análise o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , a estação com maior valor médio é a estação de São Bento com 76,8 dB(A) e a estação com menor valor médio é a estação de General Torres com 73,1 dB(A). A estação de São Bento é a estação que apresenta maior valor devido a influência do ruído residual na medição, este sobrepõe-se aos supostos valores mais baixos produzidos pelo comboio e como o ruído produzido pelo comboio quando realiza o movimento de partida é mais baixo acaba por ser esta a estação com pior comportamento acústico, aliado ao campo reverberado existente e à não existência de tratamento acústico. A seguir é a estação de Espinho a que detém maior valor médio devido ao facto de ser uma estação subterrânea que permite o prolongamento do ruído mais intenso (maior campo reverberado, apesar de ter tratamento acústico), nomeadamente numa fase mais final da avaliação, influenciando assim os valores da medição juntamente a este fator está o facto de terem sido avaliados comboios mais ruidosos como intercidades e alfa pendulares, no entanto em comparação ao que acontece no ruído de chegada o efeito protagonizado pelo comboio intercidades neste caso de partida nesta estação é de amortização da média, dado que apresenta menores valores que os restantes. A estação de Campanhã é a terceira com maior valor devido a ter sido considerado na medição comboios inter-regionais que devido ao elevado ruído de compressor influencia a média final. Apesar da estação da Casa da Música ter um valor considerável de ruído residual, menos influente que o existente em São Bento e o movimento de partida realizado pelos autocarros, devido ao ruído produzido pelo motor para alcançar uma maior velocidade, ser na maior parte dos casos superior à dos comboios estação apenas tem maior valor que Devesas, General Torres e Parque das Camélias. Como não existe ruídos elevados como os de chegada o facto de na estação de Devesas as medições terem sido realizadas maior perto da fonte sonora é pouco condicionante aliado à amortização da média devido à consideração de comboios alfa pendulares (efeito contrário ao que acontece na estação de Espinho), daí que apenas apresente maior valor que as estações de General Torres e Parque das Camélias. A estação do Parque das Camélias acaba por apresentar maior ruído de partida que General Torres devido ao maior ruído de partida realizados pelos autocarros em compensação aos comboios e por ter um valor de ruído residual superior à estação de General Torres. Em resumo a estação que apresenta melhor comportamento acústico é a estação de General Torres porque não apresenta fenómenos condicionantes e não apresenta a realização deste ruído por parte de outros tipos de comboios, já a estação com pior comportamento acústico para este ruído é a estação de São Bento devido ao efeito provocado pelo ruído residual. A diferença entre a estação que apresenta maior valor e aquela que apresenta menor é de 3,7 dB(A) devido, como os comboios avaliados nestas duas estações são do mesmo tipo, ao diferente ruído residual nas estações e ao maior campo reverberado (maior nível de pressão sonora devido às reflexões) em São Bento.

Analisando o nível sonoro estatístico L_{A10} para o ruído de partida a estação que apresenta maior valor médio é a estação de Espinho com 78,1 dB(A) enquanto que a estação que apresenta menor valor médio é a estação de General Torres com 74,9 dB(A). A estação de Espinho apresenta maior ruído que as restantes devido à influência de ser uma estação subterrânea nos ruídos, mais relevantes nos ruído mais intensos e como foram avaliados comboios mais ruidosos que nas restantes estações ferroviárias, neste caso o ruído produzido por estes é superior aos autocarros, é estação que apresenta maior valor médio para este parâmetro. A estação com o segundo maior valor é a estação de São Bento devido à contribuição do ruído residual que para este parâmetro acaba por ser inferior que o efeito existente na estação de Espinho. A estação da Casa da Música apresenta o terceiro maior valor devido ao ruído mais intenso produzido pelos autocarros na partida, devido ao menor intervalo de tempo para aumentar a velocidade, sendo que o ruído produzido pelos autocarros é apenas inferior aquele produzido pelos comboios inter-regionais, intercidades e alfa-pendulares. A estação de Devesas apresenta o quarto maior

valor devido à influência da proximidade à fonte sonora nos maiores ruídos, que são aqueles que são registados pelo L_{A10} . A estação de Campanhã apresenta maior valor que a estação de General Torres e Parque das Camélias devido a consideração do ruído produzido pelo comboio inter-regional. A estação do Parque das Camélias apresenta maior valor que General Torres devido ao facto do ruído produzido pelos autocarros ser maior aquele que é produzido pelos comboios suburbanos. A diferença de valores entre a estação de Espinho e a estação de General Torres é de 3,2 dB(A) devido ao efeito existente em Espinho que condiciona os valores medidos, nomeadamente os valores mais elevados de uma medição.

A média aritmética para o nível sonoro estatístico L_{A50} é maior na estação de São Bento com 75,9 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias com 71,1 dB(A). À medida que analisamos os níveis sonoros estatísticos de maior percentil começa a aumentar a influência do ruído residual e a diminuir a influência dos ruídos mais intensos, passando a ser contabilizado o ruído dos compressores (motores) dos veículos, por isso é que a estação de São Bento é a que apresenta maior valor para este parâmetro. A seguir é a estação de Espinho devido a ser uma estação subterrânea, nomeadamente, nos comboios alfa pendulares, depois é a estação de Devesas a que detém maior valor devido à proximidade à fonte sonora, apesar deste valor médio ser amortizado devido ao movimento de partida do alfa pendular que nesta estação tem o efeito oposto aquele realizado na estação de Espinho. A seguir é a estação de Campanhã que apresenta maior valor devido a consideração na avaliação de um comboio regional. Quando se analisa os ruídos mais baixos o ruído produzido pelos autocarros na generalidade dos casos é inferior ao dos comboios, daí que a estação da Casa da Música apresente apenas maior valor que a estação de General Torres e a estação do Parque das Camélias é a que apresente valor mais baixo. A diferença entre as estações de São Bento e do Parque das Camélias é de 4,8 dB(A) sendo que está relacionado com o maior valor residual existente em São Bento e o ruído produzido pelo compressor dos autocarros ser inferior em comparação com os comboios.

No nível sonoro estatístico L_{A90} a estação mais ruidosa é a estação de São Bento com 74,4 dB(A) e a menos ruidosa é a de Devesas com 64,1 dB(A). Neste parâmetro é mais preponderante a influência do ruído residual existente e do ruído de compressor dos comboios. A estação com maior valor médio é a de São Bento devido ao elevado ruído residual, a seguir é a estação de Espinho devido à influência de ser uma estação subterrânea no ruído de compressor nos comboios alfa pendulares, mais ruidosos. As estações de Casa da Música e Parque das Camélias apresentam maior valor que as restantes devido ao ruído compressor dos autocarros da empresa Espírito Santo, que são maiores que aqueles dos comboios suburbanos e interidades, e pela influência do ruído residual nestas estações. A estação de Campanhã apresenta maior valor médio que General Torres e Devesas devido a contribuição na média do ruído produzido pelo compressor de um comboio inter-regional. A diferença entre as estações de General Torres e Devesas está relacionado com o facto de haver medições em Devesas que apresentam um valor de L_{A90} mais baixo que as restantes estações, inclusive o valor registado para um comboio alfa pendular. A diferença entre as estações com maior e menor valor médio de L_{A90} é de 10,3 dB(A) sendo que este valor é maior que os níveis sonoros avaliados anteriormente e está relacionado com o diferente valor residual e ruído de compressor existente nas estações.

No nível sonoro máximo a média aritmética é maior na estação de Devesas com 82,5 dB(A) e menor na estação de General Torres com 77,5 dB(A). Os valores máximos dependem do maior ruído produzido pelo veículo circulante ou pela ocorrência de um evento espontâneo que condicione as medições. Sendo assim a estação com maior valor é a estação de Devesas devido a menor proximidade entre o local de medição e a fonte sonora que intensifica os valores obtidos para os ruídos mais intensos. A seguir é a estação da Casa da Música devido a possível ocorrência de eventos que condicionam a medição (proveniente do ruído urbano e da circulação do metro) e pelo maior ruído produzido pelo autocarro no momento de partida quando atinge o máximo de rotações do motor, não sendo o mesmo evidente na

estação do Parque das Camélias devido a menor marcha de partida uma vez que têm de entrar na via de circulação cedendo a marcha aos veículos que circulam na mesma. A estação de Campanhã apresenta o terceiro maior valor devido á contribuição do comboio inter-regional. A seguir é a estação de São Bento devido á existência de uma maior circulação de outros comboios noutras vias, ruído residual, e aos picos a que as medições estão sujeitas. A estação do Parque das Camélias apresenta maior valor que General Torres devido ao maior ruído produzido pelos autocarros das empresas Espírito Santo e MGC. A diferença entre os valores máximo e mínimo para este nível sonoro entre as estações é de 5,0 dB(A) sendo que este valor está relacionado com o efeito da proximidade do local da medição á fonte sonora, principalmente nos comboios mais ruidosos, na estação de Devesas.

No nível sonoro mínimo a estação com maior valor é a estação de São Bento com 73,5 dB(A) e a estação com menor valor é a estação de Devesas com 60,8 dB(A). A ordem deste parâmetro é a mesma obtido no nível sonoro estatístico L_{A90} , que devido a ligação entre o L_{A90} e L_{Amin} , as situações justificativas da ordem são as mesmas que se aplicam no nível sonoro estatístico de percentil 90. A diferença entre os valores médios obtidos nas estações de São Bento e de Devesas é de 12,7 dB(A), semelhante a diferença entre as mesmas estações no L_{A90} , pelo que os motivos enunciados para este são os mesmos que se aplicam neste caso.

A diferença média entre os valor máximos e mínimos de uma medição é maior na estação de Devesas com 21,7 dB(A) e menor na estação de São Bento com 5,8 dB(A), sendo que o valor é mais elevado em Devesas devido aos maiores valores máximos apresentados serem inflacionados devido á proximidade nas medições entre o local de medição e a fonte sonora (menor atenuação por divergência geométrica) e ao facto de ter uma baixo valor residual, o que implica ter valores mínimos mais baixos, já a estação de São Bento apresenta a menor diferença devido ao maior ruído residual que se aproxima dos maiores valores das medições, havendo assim uma menor diferença de valores. A diferença entre estas duas estações é de 15,9 dB(A) e está relacionado com os motivos atrás referidos.

6.2.4. RUÍDO DA CHEGADA Á PARTIDA

No Quadro 6.36 estão expostos os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído da chegada á partida para as estações ferroviárias e rodoviárias.

Quadro 6.36 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído da chegada á partida dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Ruído da Chegada à Partida nas Estações					Máx - Mín (entre estações)
	Ferroviárias			Rodoviárias		
	FC	FGT	FD	FE	RCM	
L_{Aeq}	76,2 +	74,9	75,9	75,5	72,6 -	3,6
L_{A10}	75,5	77,2	78,0 +	77,3	73,7 -	4,3
L_{A50}	70,4	69,0 -	69,7	74,5 +	69,8	5,5
L_{A90}	65,7	63,4 -	64,7	70,5 +	67,7	7,1
$L_{Amáx}$	82,7	82,7	88,7 +	82,2	80,0 -	8,7
L_{Amin}	60,6	60,2 -	61,0	62,5	66,8 +	6,6
ΔL_A	22,1	22,4	27,7 +	19,8	13,2 -	14,5

.FC- Estação Ferroviária de Campanhã; FGT- Estação Ferroviária de General Torres; FD- Estação Ferroviária das Devesas; FE- Estação Ferroviária de Espinho; RCM- Estação Rodoviária da Casa da Música.

Tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , a estação com maior valor médio é a estação de Campanhã com 76,2 dB(A) enquanto que a estação com menor valor médio é a estação da Casa da Música com 72,6 dB(A). As estações avaliadas para este ruído apresentam um baixo ruído residual, exceto a Casa da Música, pelo que os valores obtidos são pouco influenciados por este, no entanto entre o momento de chegada e partida existe a predominância de valores mais baixos que estão dependentes do tipo de compressor (motor) do veículo para além de que esse intervalo de tempo é diferente entre as estações, nas estações centrais como Devesas e Campanhã esse intervalo é maior e nos autocarros esse intervalo é inferior ao dos comboios. Sendo assim a estação que apresenta maior é a estação de Campanhã devido à contabilização de comboios inter-regionais, dado que estes são os tipos de comboios mais ruidosos quer na chegada quer na produção de ruído de compressor. Na estação de Devesas e Espinho apesar de terem os mesmos efeitos enunciados anteriormente, a maior proximidade entre o local de medição e a fonte sonora acaba por ser mais relevante na sua contribuição nos comboios alfa pendulares. Apesar de na parte da partida o ruído proveniente nos autocarros ser maior que nos comboios suburbanos, os maiores valores obtidos pelos comboios na chegada, condiciona a generalidade das medições daí que, General Torres apresente maior média que a estação rodoviária da Casa da Música. A diferença entre as estações com maior e menor valor médio é de 3,6 dB(A) devido ao maior ruído produzido pelos comboios, nomeadamente inter-regionais, em virtude dos autocarros. De salientar a similaridade de valores entre o ruído de partida e o ruído da chegada à partida.

A média aritmética do nível sonoro estatístico L_{A10} , é maior na estação de Devesas com 78,0 dB(A) e menor na estação da Casa da Música com 73,7 dB(A). A estação de Devesas e Espinho são as estações que apresentam maiores valores, sendo que a estação de Devesas, tal como acontece no nível sonoro contínuo equivalente, apresentam maior valor que Espinho devido a maior influência da proximidade à fonte sonora (menor atenuação por divergência geométrica), em ambos os casos os seus efeitos intensificam os maiores valores das medições o que implica que apresentem maiores valores que as restantes estações avaliadas. O nível sonoro estatístico é dependente do intervalo de tempo da medição, uma medição com menor intervalo de tempo tem maior probabilidade de apresentar maiores dado que a gama de todos os valores da medição é menor, que é o que acontece na estação de General Torres em que o intervalo de tempo da medição é menor que na estação de Campanhã, que esta mais exposta a um maior intervalo de tempo com predominância de menores valores. A estação de Campanhã apresenta maiores valores que a da Casa da Música, dado que na generalidade do ruído da chegada à partida os comboios são mais ruidosos que os autocarros. A diferença entre as estações de Devesas e da Casa da Música deve-se sobretudo ao inflacionar dos maiores valores das medições devido à menor proximidade entre o local de medição e a fonte sonora em Devesas para além do menor ruído global produzido pelos autocarros na estação da Casa da Música.

A média aritmética para o nível sonoro estatístico L_{A50} é maior em Espinho com 74,5 dB(A) e menor em General Torres com 69,0 dB(A). No L_{A50} o efeito do ruído de compressor dos diferentes tipos de comboio e o ruído residual existente na estação começa a ter relevância. A estação de Espinho apresenta maior valor dado que para além de ser uma estação subterrânea e suas as condicionantes o ruído produzido pelo comboio inter-cidades condiciona o valor médio. A seguir é a estação de Campanhã que apresenta maior valor devido à contribuição do ruído dos comboios inter-regionais. A estação da Casa da Música apresenta o terceiro maior valor devido ao ruído de compressor dos autocarros existentes, maiores os da empresa Espírito Santo e Resende e ao maior ruído residual existente. A estação de Devesas apresenta maiores valores que a estação de General Torres devido ao facto da proximidade à fonte sonora e a contabilização dos comboios alfa pendulares que são mais ruidosos que os comboios suburbanos. A diferença entre as estações mais e menos ruidosa é de 5,5 dB(A) e está relacionado para além do efeito enunciado para a estação de Espinho com a avaliação de comboios mais ruidosos em Espinho dado que em General Torres só foram avaliados comboios suburbanos.

Em relação ao nível sonoro estatístico L_{A90} a média aritmética é maior em Espinho com 70,5 dB(A) e menor em General Torres com 63,4 dB(A), em relação ao nível sonoro estatístico anterior a estação da Casa da Música apresenta maior valor médio que a estação de Campanhã devido ao maior ruído residual existente na estação da Casa da Música. De resto os valores apresentados podem ser justificados pelos mesmos motivos enunciados no parâmetro anterior. A diferença entre as duas primeiras estações referidas é de 7,1 dB(A) sendo que está relacionado com o motivo enunciado no parâmetro LA50, dado que ambas apresentam um ruído residual semelhante, menor na estação de Espinho.

A média aritmética para o nível sonoro máximo é maior na estação de Devesas com 88,7 dB(A) e menor na estação da Casa da Música com 80,0 dB(A). Para este tipo de ruído os valores máximos estão associados aos valores de ruído produzido pelos comboios no momento de chegada, onde o ruído é mais intenso, para além disso os valores máximos podem ser relativos á ocorrência de eventos momentâneos. A estação de Devesas apresenta maior valor devido ao aumento dos valores obtidos dos comboios mais ruidosos devido á menor proximidade á fonte sonora. A estação de Campanhã e General Torres apresentam o mesmo valor, mas por motivos diferentes, no primeiro caso é devido a contabilização dos maiores ruídos provenientes de um comboio inter-regional, no segundo caso é devido á uma medição que apresentou um valor máximo de 101,0 dB (A) que indica a existência de um evento momentâneo. A estação de Espinho apresenta maiores valores que a estação da Casa da Música devido ao facto de os comboios produzirem mais ruído que os autocarros, no entanto apresenta menor valor médio que Campanhã porque apesar de em ambas as estações serem considerados comboios ruidosos a menor velocidade no momento de chegada faz com que tenha menores valores máximos. A diferença entre a estação com maior $L_{Amáx}$ e menor é de 8,7 dB(A) sendo que esta diferença está relacionada com os maiores valores em Devesas devido ao efeito da proximidade referido e ao facto de os comboios produzirem mais ruído que os autocarros.

O nível sonoro mínimo a média aritmética é maior na Casa da Música com 66,8 dB(A) e menor na estação de General Torres com 60,2 dB(A). A estação da Casa da Música apresenta maiores valores mínimos que as restantes devido ao maior ruído residual existente na estação. A estação de Espinho apresenta maiores valores que as restantes estações ferroviárias devido à intensificação dos valores mínimos resultantes do ruído produzido pelo comboio, dado que o ruído residual é muito baixo, pelo facto de ser uma estação subterrânea. A estação de Devesas apresenta maior valor médio que a estação de Campanhã e General Torres devido ao efeito, apesar de reduzido, de aumento dos valores mínimos pela proximidade á fonte sonora. A estação de Campanhã apresenta maior valor média que a estação de General Torres devido a ser considerado o efeito dos comboios inter-regionais. A diferença entre a estação da Casa da Música e a estação de General Torres está relacionado com o maior valor de ruído residual existente na primeira estação enunciada.

A diferença média entre os valores máximos e mínimos de uma medição, média aritmética, é maior na estação de Devesas com 27,7 dB(A) devido ao contraste entre os valores máximos inflacionados pela proximidade entre a fonte sonora e o local de medição e os baixos valores mínimos devido ao diminuto ruído residual e menor na estação da Casa da Música com 13,2 dB(A) devido ao menor ruído produzido pelos autocarros e ao facto de ser a estação em estudo para este tipo de ruído com maior valor residual. A diferença entre estas duas estações é de 14,5 dB(A) devido aos motivos enunciados anteriormente.

6.2.5. RUÍDO DO VEÍCULO ESTACIONADO.

No Quadro 6.37 estão presentes os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído do veículo estacionado para as estações ferroviárias e rodoviárias.

Analisando o ruído dos meios de transporte quando se encontram parados nas estações com base no nível sonoro contínuo equivalente, a média logarítmica é maior na estação de Campanhã com 79,8 dB(A) e menor na estação da Casa da Música com 68,0 dB(A). A estação de Campanhã apresenta maior valor dado a terem sido avaliados um maior número dos comboios mais ruidosos em comparação a estação de São Bento, em que foram avaliados um maior número de comboios suburbanos, neste caso o ruído produzido pelos comboios alfa pendulares e inter-regionais são superiores aos suburbanos. As estações ferroviárias apresentam maior valor que as estações rodoviárias devido ao diferente tipo de ruído de compressor, o ruído de compressor produzido pelos comboios é superior ao equivalente produzido pelos autocarros. A estação da Casa da Música apresenta maior nível sonoro contínuo equivalente médio que a estação do Parque das Camélias os ruídos dos autocarros de maior porte avaliados na Casa da Música são superiores a todos os ruídos avaliados no Parque das Camélias. Na medição deste ruído o ruído é constante ao longo de toda a medição dado que a fonte sonora é igual na medição, pelo que não se nota o efeito do ruído residual dado que o ruído produzido pelo compressor é superior. A diferença entre as estações com maior e menor valor médio é de 11,8 dB(A) e está relacionado com o maior ruído de compressor (motor) dos comboios, em especial dos comboios inter-regionais, em comparação com o mesmo tipo de ruído proveniente dos autocarros.

Quadro 6.37 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído dos meios de transporte estacionados nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Ruído do Veículo Estacionado nas Estações				Máx - Mín (entre estações)
	Ferroviárias		Rodoviárias		
	FC	FSB	RCM	RPC	
L_{Aeq}	79,8 +	76,7	71,3	68,0 -	11,8
L_{A10}	79,5 +	76,4	72,4	69,0 -	10,5
L_{A50}	78,3 +	75,4	69,3	67,0 -	11,3
L_{A90}	77,2 +	74,5	68,0	65,7 -	11,5
L_{Amax}	82,9 +	80,1	78,1	72,7 -	10,2
L_{Amin}	76,7 +	73,6	66,6	64,9 -	11,8
ΔL_A	6,2 -	6,5	11,5 +	10,2	5,3

.FC- Estação Ferroviária de Campanhã; FSB- Estação Ferroviária de São Bento; RCM- Estação Rodoviária da Casa da Música; RPC – Estação Rodoviária do Parque das Camélias

Analisando os níveis sonoros estatísticos, a média aritmética do L_{A10} é maior na estação de Campanhã com 79,5 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias com 68,0 dB(A), perfazendo uma diferença de 10,5 dB(A), esta é inferior a diferença entre as mesmas estações com base no L_{Aeq} devido a que na estação de Campanhã o L_{A10} seja menor ao L_{Aeq} , um caso raro que indica a existência de picos máximos nas medições de Campanhã.. Em relação ao nível sonoro estatístico L_{A50} a média aritmética é maior na estação de Campanhã com 78,3 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias com 67,0 dB(A), sendo que a diferença entre as estações de 11,3 dB(A). Relativamente ao nível sonoro estatístico L_{A90} a média aritmética é maior em Campanhã com 77,2 dB(A) e menor no Parque das Camélias com 65,7 dB(A), o que faz uma diferença de 11,5 dB(A). Como a ordem mantém-se igual nos parâmetros estatísticos e as diferenças são semelhantes, exceto no nível sonoro estatístico L_{A10} , as razões que se aplicaram no nível sonoro contínuo equivalente são as mesmas que se aplicam nestes parâmetros, dado que não existem alterações de grande relevância.

A média aritmética para o nível sonoro máximo é maior em Campanhã com 82,9 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias com 72,7 dB(A), o que faz uma diferença de 10,2 dB(A). No nível sonoro mínimo a estação com maior valor médio é a estação de Campanhã, com 76,7 dB(A) e a estação com menor valor é a estação do Parque das Camélias com 64,9 dB(A). Tal como acontece nos níveis sonoros estatísticos, a ordem dos níveis sonoros máximos e mínimos é a mesma que a do nível sonoro contínuo equivalente e as diferenças entre os maiores e menores valores de cada parâmetro entre as estações são muito semelhantes, as razões que se aplicaram anteriormente para justificar os valores obtidos são as mesmas que se aplicam neste caso.

Neste tipo de ruído a média da diferença entre os valores máximo e mínimo são muito baixas comparadas com outros tipos de ruídos avaliados até agora devido ao facto de o ruído emitido pela fonte sonora ser muito homogéneo ao longo do intervalo de tempo da medição. No entanto a estação da Casa da Música apresenta a média superior para este parâmetro com 11,5 dB(A) e a estação com menor valor médio é a estação de Campanhã com 6,2 dB(A), face aos valores obtidos é possível visualizar que as estações rodoviárias apresentam maiores valores médios, Casa da Música com 11,5 dB(A) e Parque das Camélias com 10,2 dB(A), e as estações ferroviárias apresentam os valores mais baixos, 6,2 dB(A) em Campanhã e 6,5 dB(A) em São Bento, estas diferenças entre as estações ferroviárias e rodoviárias e por consequente entre a estação com maior valor e a estação de menor valor (uma diferença de 5,3 dB(A)) está relacionada com o facto de o ruído produzido pelos comboios ser mais homogéneo e mais elevado ao longo do tempo que o ruído produzido pelos autocarros, ruído mais intermitente, dado que a fonte sonora neste tipo de ruído é a mesma ao longo do intervalo de tempo da medição.

6.2.6. RUÍDO DE PASSAGEM

No Quadro 6.38 estão presentes os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído de passagem dos meios de transporte, sem realizarem paragem, para as estações ferroviárias e rodoviárias.

Analisando o ruído de passagem dos meios de transporte a média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente é maior na estação de General Torres, com 93,2 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias, com 67,6 dB(A). A estação de General Torres é a que apresenta maior valor médio devido a maior velocidade de circulação dos comboios na linha em comparação com as restantes estações e por consequente maior ruído de passagem, com especial contributo dos comboios alfa pendulares e intercidades. A estação de Espinho é a segunda que apresenta maior valor devido a ser uma estação subterrânea e o seu efeito (mais reflexões das ondas sonoras nas superfícies das estações, apesar de terem material absorvente) nos comboios mais ruidosos, que para este caso são os comboios de mercadorias e detrimento dos comboios alfa pendulares, no entanto tem menor valor que a estação anterior devido a menor velocidade de circulação. A estação de Devesas é a estação ferroviária com menor média de nível sonoro contínuo equivalente devido a menor velocidade de circulação dos comboios de mercadorias e locomotiva, sendo que o ruído produzido pela locomotiva nesta estação é o menor valor avaliado, tendo apenas em conta as estações ferroviárias. As estações rodoviárias apresentam menores valores que as rodoviárias uma vez que o ruído produzido pelo comboio é superior ao ruído produzido pelo autocarro, neste tipo de ruído. No entanto a estação da Casa da Música apresenta maior valor que a estação do Parque das Camélias devido a maior velocidade de circulação dos veículos na estação e ao maior ruído residual existente na Casa da Música. A diferença entre a estação com maior valor médio e a de menor valor médio é de 25,6 dB(A) estando principalmente relacionado com o maior ruído produzido pelos comboios na sua passagem em comparação com o mesmo tipo de ruído, mas dos autocarros.

Quadro 6.38 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído de passagem dos meios de transporte nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Ruído de Passagem nas Estações					Máx - Min (entre estações)
	Ferroviárias			Rodoviárias		
	FGT	FD	FE	RCM	RPC	
L_{Aeq}	93,2 +	91,0	91,1	73,1	67,6 -	25,6
L_{A10}	96,6 +	88,2	91,3	76,8	68,5 -	28,1
L_{A50}	83,5	81,8	86,1 +	69,3	66,8 -	19,3
L_{A90}	68,7	62,8 -	76,3 +	66,8	66,3	13,5
L_{Amax}	100,0 +	92,2	93,6	81,5	74,9 -	25,1
L_{Amin}	66,0	58,9 -	70,7 +	63,9	64,7	11,8
ΔL_A	34,0 +	33,3	22,9	17,6	10,2 -	23,8
L_{Aeq} (ruído ambiente)	57,7	56,5	48,5	67,1	65,2	-
ΔL_A^1	35,5	34,5	42,6 +	6,0	2,4 -	40,2

. 1 - Diferença aritmética entre o ruído de passagem dos veículos e o ruído ambiente; FGT- Estação Ferroviária de General Torres; FD- Estação Ferroviária das Devesas; FE- Estação Ferroviária de Espinho; RCM- Estação Rodoviária da Casa da Música; RPC – Estação Rodoviária do Parque das Camélias

A média aritmética para o nível sonoro estatístico L_{A10} é maior em General Torres, com 96,6 dB(A) e menor no Parque das Camélias, com 68,5 dB(A), sendo que a diferença entre estas duas estações é de 28,1 dB(A). Como a ordem neste parâmetro é a mesma existente no nível sonoro contínuo equivalente e a diferença entre as estações neste parâmetro é semelhante a diferença enunciada para o nível sonoro contínuo equivalente, ou seja, os fatores existentes no nível sonoro contínuo equivalente são os mesmos que se aplicam neste caso.

A média aritmética para o nível sonoro estatístico L_{A50} é maior na estação de Espinho com 86,1 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias com 66,8 dB(A). Em relação ao que acontece nos parâmetros anteriores neste caso é a estação de Espinho a que detém maior média devido ao facto de ser uma estação subterrânea e por isso haver um prolongamento do ruído mais intenso (devido ao maior campo reverberado), não existindo o normal decaimento de ruído das medições como nas restantes estações. Exceção feita a este acontecimento, a ordem permanece semelhantes pelos fatores enunciados anteriormente também se aplicam neste caso. A diferença entre as estações de maior e menor valor médio para este parâmetro é de 19,3 dB(A) sendo que esta diferença está relacionada com o efeito existente em Espinho e pelo facto de os comboios produzirem mais ruído que os autocarros.

No nível sonoro estatístico L_{A90} , este está diretamente inflacionado pela existência de ruído residual da estação, a média aritmética é maior na estação de Espinho com 76,3 dB(A) e menor na estação de Devesas, com 62,8 dB(A). Para este parâmetro a estação com menor valor médio é a estação de Devesas dado que o ruído é mais sujeito a oscilações devido a só serem considerados comboios de mercadorias, que ao contrário dos comboios de passageiros a fonte sonora é mais intensa na locomotiva que nas restantes carruagens, o que implica que os valores diminuam no restante comprimento do comboio, para além disso o elevado ruído residual existente nas estações rodoviárias faz com que para este parâmetro apresentem maior valor médio que a estação de Devesas, de resto as justificações nos restantes parâmetros são as mesmas que se aplicam neste. A diferença entre as estações de maior e menor ruído

apresentado é de 13,5 dB(A) para este parâmetro, devido ao menor ruído residual existente em Devesas e ao efeito por ser uma estação subterrânea em Espinho.

A média aritmética do nível sonoro máximo por ordem decrescente é maior em General Torres, com 100,0 dB(A) e menor no Parque das Camélias, com 74,9 dB(A) sendo esta a mesma ordem presente no nível sonoro contínuo equivalente e nível sonoro estatístico de percentil 10, pelo que as razões que justificaram essas situações são as mesmas que se aplicam neste caso. A diferença entre o maior valor e menor obtido é de 25,1 dB, para este parâmetro, esta diferença pode ser justificada pelas mesmas razões que justificaram as diferenças no L_{Aeq} e L_{A10} , dado que ambas são muito semelhantes para além do facto de pertencerem a diferença entre as mesmas estações.

A média aritmética para o nível sonoro mínimo é maior na estação de Espinho, com 70,7 dB(A) e menor na estação de Devesas, com 58,9 dB(A). A ordem existente da mais ruidosa para a menor ruidosa é a mesma do nível sonoro estatístico L_{A90} exceto no facto de neste caso a estação do Parque das Camélias apresentar maior valor mínimo médio que a da Casa da Música, devido ao maior ruído residual existente devido á proximidade do local de medição para este tipo de ruído com a via de circulação. De resto as razões que se aplicam neste caso são as mesmas que se aplicaram no nível sonoro estatístico de percentil 90. A diferença entre as estações de Espinho e Devesas é de 11,8 dB(A) sendo muito semelhante a diferença existente no nível sonoro estatístico L_{A90} , devido a relação entre os valores mínimos e o L_{A90} , pelo que, como são as mesmas estações que apresentam maior e menor valor médio, as razões que se aplicaram anteriormente são as mesmas que se aplicam neste caso.

As diferenças entre os valores máximos e mínimos de uma medição tem uma média aritmética maior na estação de General Torres, com 34,0 dB(A) e menor na estação do Parque das Camélias, com 10,2 dB(A), sendo que está relacionado com a maior velocidade e maior ruído produzido pelos comboios em contrapartida ao ruído produzido pelos autocarros, de facto ambas as estações ferroviárias apresentam maior valor médio que as estações rodoviárias. A diferença entre a estação com maior média e a estação com pior média de 10,2 dB(A) pelos motivos acima assinalados.

De modo a perceber o efeito da passagem dos veículos nas estações foi calculada a diferença entre o ruído de passagem do material circulante nas estações e o ruído ambiente e assim perceber a alteração de ruído quando um passageiro se encontra na estação sem comboios e quando passa um comboio sem efetuar paragem, dado que é este tipo de ruído que apresenta maiores valores. Face aos resultados obtidos a diferença em General Torres é de 35,5 dB(A), em Devesas é de 34,5 dB(A), em Espinho de 42,6 dB(A), maior diferença, na Casa da Música de 6,0 dB(A) e no Parque das Camélias de 2,4 dB(A), menor diferença. A estação de Espinho apresenta a maior diferença devido ao menor ruído ambiente (principal fator para ter um valor alto) e ao elevado ruído de passagem dos comboios, apesar de não ser o maior. A estação de General Torres e de Devesas apresentam um valor de 35,5 dB(A) e 34,5 dB(A), respetivamente, devido ao elevado ruído de passagem dos comboios e ao maior ruído ambiente comparado com Espinho. As estações rodoviárias são aquelas que apresentam menor diferença, 6,0 dB(A) na Casa da Música e 2,4 dB(A) no Parque das Camélias, devido ao facto de os autocarros produzirem menor ruído que os comboios e ao maior ruído ambiente (são estações que apresentam maior ruído residual a seguir à estação de São Bento), no entanto como o ruído dos autocarros no Parque das Camélias é menor, apresenta menor valor que a Casa da Música. A diferença entre a estação onde o efeito é maior e a estação onde o efeito é menor é de 40,2 dB(A) devido aos fatores enunciados anteriormente para a estação com maior diferença e a estação com menor diferença.

6.2.7. RÚIDO AMBIENTE

No Quadro 6.39 estão presentes os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído ambiente existente nas estações alvo de estudo.

A média logarítmica do ruído ambiente medido pelo nível sonoro contínuo equivalente é maior na estação de São Bento com 74,9 dB(A) e menor na estação de Espinho com 48,5 dB(A). A estação com maior ruído ambiente é a de São Bento devido ao ruído proveniente dos comboios estacionados na estação, havendo assim uma constante produção de ruído pelos comboios (nas restantes estações este tipo de eventos não ocorre). A estação da Casa da Música e do Parque das Camélias são as que a seguir apresentam maior ruído devido a existência de um maior ruído urbano pelo facto de se situarem em zonas de grande movimentação no Porto, ruído urbano, para além disso na estação da Casa da Música por vezes o ruído ambiente é inflacionado pelo ruído produzido pelo metro que circula no subsolo desta estação. Nas restantes estações ferroviárias a diferença do ruído ambiente é relativo á circulação de passageiros nas estações, no entanto a estação de Campanhã apresenta maior valor devido a haver uma maior circulação de pessoas e uma possível circulação de comboios nas linhas mais afastadas e a estação de Espinho apresenta menor valor devido a ser uma estação subterrânea a haver uma maior dispersão de ruído dando a sensação de vazio. De realçar que a escala de sonómetro na estação de Espinho foi menor que nas restantes estações. A diferença entre a estação de maior ruído ambiente e a estação de menor ruído é de 26,4 dB(A) devido ao maior ruído ambiente em São Bento devido ao constante ruído de comboio estacionado na estação e o facto de Espinho ser uma estação subterrânea com tratamento acústico.

Quadro 6.39 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído ambiente nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Ruído Ambiente nas Estações							Máx - Mín (entre estações)
	Ferroviárias				Rodoviárias			
	FC	FSB	FGT	FD	FE	RCM	RPC	
L_{Aeq}	59,5	74,9 +	57,7	56,5	48,5 -	67,1	65,2	26,4
L_{A10}	60,0	75,4 +	58,9	59,3	49,8 -	68,1	66,4	25,6
L_{A50}	56,5	72,8 +	54,8	51,7	44,8 -	63,0	63,3	28,0
L_{A90}	55,0	71,1 +	52,3	48,4	41,1 -	59,6	61,6	30,0
L_{Amax}	72,9	87,4 +	71,1	73,5	62,7 -	76,1	74,9	24,7
L_{Amin}	53,9	69,7 +	50,1	46,3	37,7 -	57,4	60,9	32,0
ΔL_A	19,0	17,7	21,0	27,2 +	25,0	18,8	14,0 -	13,2

.FC- Estação Ferroviária de Campanhã; FSB- Estação Ferroviária de São Bento; FGT- Estação Ferroviária de General Torres; FD- Estação Ferroviária das Devesas; FE- Estação Ferroviária de Espinho; RCM- Estação Rodoviária da Casa da Música; RPC – Estação Rodoviária do Parque das Camélias

A média aritmética do nível sonoro estatístico L_{A10} é maior na estação de São Bento com 75,4 dB e menor na estação de Espinho com 49,8 dB, havendo assim uma diferença de 25,6 dB. Face ao nível sonoro estatístico L_{A50} a estação com maior valor médio é a estação de São Bento com 72,8 dB e a estação com menor valor médio é a estação de Espinho com 44,8 dB, sendo a diferença de 28,0 dB. No nível sonoro estatístico L_{A90} a média aritmética é maior na estação de São Bento com 71,1 dB e menor na estação de Espinho com 41,1 dB, o que perfaz uma diferença entre as estações de 30,0 dB. No nível sonoro máximo a média aritmética é de 87,4 dB(A) na estação com maior valor médio, São Bento e de 62,7 dB(A) na estação de menor valor média, havendo uma diferença de 24,7 dB(A). No nível sonoro

mínimo a estação com maior valor médio é a estação de São Bento com 69,7 dB(A) e a estação com menor valor médio é a estação de Espinho com 37,7 dB(A), sendo que existe uma diferença de 32,0 dB(A) entre as estações. As possíveis alterações na ordem das posições, da mais ruidosa para a menos ruidosa, das estações, face ao nível sonoro contínuo equivalente, estão relacionadas com a possível ocorrência de eventos nas medições, como a passagem de metro na Casa da Música, o sinal sonoro emitido por carros, o sinal sonoro na estação de Devesas e o ruído afeto á circulação de pessoas na estação. As diferenças entre os valores máximo e mínimo por parâmetros é muito semelhante entre eles, aliado ao facto de a diferença de valores corresponder sempre ás mesmas estações.

6.2.8. MENSAGEM SONORA

No Quadro 6.40 estão presentes os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído produzido pela mensagem sonora nas estações alvo de estudo.

Quadro 6.40 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído produzido pela mensagem sonora nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Mensagem Sonora				Máx - Mín (entre estações)
	Estações Ferroviárias				
	FC	FSB	FGT	FD	
L_{Aeq}	69,9	76,4 +	65,6 -	69,7	10,8
L_{A10}	71,5	77,8 +	67,2 -	72,2	10,6
L_{A50}	68,4	74,6 +	62,5 -	65,0	12,1
L_{A90}	62,7	71,0 +	58,8	54,7 -	16,3
L_{Amax}	77,6	82,5 +	72,1 -	78,7	10,4
L_{Amin}	59,8	69,4 +	55,6	51,0 -	18,4
ΔL_A	17,9	13,1 -	16,5	27,7 +	14,6
L_{Aeq} (Ruído Ambiente)	59,5	74,9	57,7	56,5	-
ΔL_A¹	10,4	1,5 -	7,9	13,2 +	11,7
L_{Aeq} (Ruído de Partida)	75,7	76,8	73,1	74,7	-
ΔL_A²	5,8	0,4 -	7,5 +	5,0	7,1

. 1- Diferença entre o ruído produzido pela mensagem sonora e o ruído ambiente; 2- Diferença entre o ruído de partida dos comboios e o ruído produzido pela mensagem sonora. FC- Estação Ferroviária de Campanhã; FSB- Estação Ferroviária de São Bento; FGT- Estação Ferroviária de General Torres; FD- Estação Ferroviária das Devesas.

A média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído produzido pela mensagem sonora é maior na estação de São Bento com 76,4 dB(A) e menor na estação de General Torres com 65,6 dB(A). A estação de São Bento é a que apresenta maior valor devido ao ruído residual existente na estação (maior efeito deste tipo de ruído por existir um maior campo reverberado). A estação de Campanhã a

que apresenta o segundo maior valor devido a ser a segunda estação com maior valor residual. Nas restantes estações a diferença está relacionada com o diferente intervalo de tempo da mensagem sonora e a diferente circulação de pessoas para além do ruído produzido pelo sinal sonoro na estação de Devesas. A diferença entre a estação que apresenta maior valor médio e menor valor médio é de 10,8 dB(A) sendo que a diferença existente está relacionada com o maior valor de ruído residual existente na estação de São Bento.

A média aritmética do nível sonoro estatístico L_{A10} é de maior na estação de São Bento com 77,8 dB(A) e menor na estação de General Torres com 67,2 dB(A). Em relação á situação anterior, neste caso a estação de Devesas apresenta maior valor que a estação de Campanhã devido á diferença de intervalo de tempo da mensagem sonora, um menor intervalo de tempo indica valores mais elevados da medição. De resto as justificações apresentadas no parâmetro anterior são as mesmas que se aplicam neste. A diferença entre as estações de maior e menor média para este parâmetro é de 10,6 dB(A), semelhante a diferença do nível sonoro equivalente e está relacionada com o maior ruído residual existente em São Bento.

No nível sonoro estatístico L_{A50} a média aritmética é maior na estação de São Bento com 74,6 dB(A) e menor na estação de General Torres com 62,5 dB(A). A ordem, das estações mais ruidosas para as estações menos ruidosas, presente neste nível sonoro é a mesma presente no nível sonoro contínuo equivalente pelas que as razões enunciadas para esse parâmetro são as mesmas que se aplicam neste, no entanto a diferença entre os valores entre as estações de São Bento, maior valor médio, e a estação de General Torres é de 12,1 dB(A) ligeiramente maior que nos dois parâmetros anteriores devido á maior importância dos valores de ruído residual nos parâmetros de maior quartil (50 e 90) e de valores mínimos, sendo que a diferença pode ser justificada pela mesma razão enunciada anteriormente.

No nível sonoro estatístico L_{A90} a média aritmética é maior na estação de São Bento, com 71,0 dB(A) e menor na estação de Devesas, com 54,7 dB(A), neste caso a estação de General Torres apresenta maior ruído para este parâmetro que a estação de Devesas devido ao maior ruído residual existente na estação e conseqüente contributo deste no parâmetro L_{A90} . No entanto para as restantes situações as justificações são as mesmas apresentadas para o nível sonoro contínuo equivalente. A diferença entre a estação que apresenta maior valor médio e a estação que apresenta menor valor médio é de 16,3 dB(A) sendo que pode ser justificada pela maior diferença de ruído residual e a sua preponderância no cálculo deste parâmetro.

No nível sonoro máximo a média aritmética é maior na estação de São Bento com 82,5 dB(A) e menor na estação de General Torres com 72,1 dB(A), o facto de a estação de Devesas apresenta maior média de valor máximo que a estação de Campanhã indica a ocorrência de eventos momentâneos que condicionaram o valor máximo de cada medição, de resto as justificações aplicadas nos parâmetros anteriores aplicam-se neste. A diferença entre a estação com maior média aritmética e a de menor média aritmética é de 10,4 dB(A), muito semelhante as diferenças para o nível sonoro contínuo equivalente e nível sonoro estatístico L_{A10} , pelos que as razões enunciadas para as diferenças deste dois níveis sonoros são as mesmas que se aplicam neste caso.

A média aritmética do nível sonoro mínimo é maior na estação de São Bento, com 69,4 dB(A) e menor na estação de Devesas, com 51,0 dB(A), a ordem das estações é semelhante á ordem das estações para o nível sonoro estatístico L_{A90} pelo que as razões encontradas neste parâmetro são as mesmas aplicadas para o nível sonoro mínimo. A diferença entre as estações de maior e menor valor médio é de 18,4 dB(A), maior diferença entre as estações de maior e menor valor médio entre os parâmetros, devido ao maior ruído residual da estação de São Bento em contrapartida ao baixo ruído residual da estação de Devesas.

A diferença média entre os valores máximos e mínimos numa medição é maior na estação de Devesas, com 27,7 dB(A) e menor na estação de São Bento com 13,1 dB(A), estes valores são devidos á maior desigualdade em Devesas devido ao elevado ruído produzido pela mensagem sonora e ao menor ruído residual presente na estação e ao elevado ruído residual existente em São Bento. A diferença entre estas duas estações referenciadas é de 14,6 dB(A) e está relacionado com os motivos enunciados neste parágrafo para as situações em cada estação.

A mensagem sonora de modo a ser audível tem que produzir um ruído que seja superior ao ruído ambiente existente na estação, esse acréscimo é maior na estação de Devesas, com um aumento de 13,2 dB(A) e é menor na estação de São Bento com 1,5 dB(A), sendo que nas restantes estações há um acréscimo de 10,4 dB(A) em Campanhã e 7,9 dB(A) em General Torres. Na estação de São Bento existe apenas um acréscimo de 1,5 dB(A) devido ao maior ruído ambiente existente na estação que devido ao maior residual que se faz sentir na medição sonora apresenta um valor muito reduzido, fazendo até com que no meio das plataformas muitas vezes não seja audível a mensagem sonora, situação presenciada pelo autor desta dissertação. A estação de Devesas é aquela que apresenta maior diferença, uma vez que é a estação que apresenta menor ruído ambiente, aliado ao facto de não ser a estação onde a mensagem sonora menos se faz sentir. Nas restantes estações as diferenças calculadas podem ser explicadas pelo menor ruído ambiente em comparação com a estação de São Bento. A diferença entre a estação de maior e menor diferença é de 11,7 dB(A) devido ao facto de ser a estação onde o ruído produzido pela mensagem sonora ser muito menor.

De modo a perceber em qual das situações, ruído produzido pela mensagem sonora ou ruído produzido pelos comboios face ao ruído ambiente existente na estação foram calculadas as diferenças entre o ruído produzido pela partida dos comboios e o ruído produzido pela mensagem sonora sendo que em todas as estações o ruído produzido pelo comboio é superior à mensagem sonora (indica que na circulação de um veículo na estação não seja audível a mensagem sonora), no entanto as diferenças nas estações são diferentes umas das outras, sendo que a menor diferença é em São Bento, com 0,4 dB(A) e maior na estação de General Torres, com 7,5 dB(A), nas outras duas estações a diferença é muito semelhante, com 5,8 dB(A) em Campanhã e 5,0 dB(A) em Devesas. A estação de São Bento apresenta uma diferença muito baixa, 0,4 dB(A) devido à maior semelhança entre o ruído produzido pelo comboio e pela mensagem sonora aliado ao facto de existir um elevado valor de ruído residual que condiciona a medição ao fazer com que os valores medidos sejam muito semelhantes daí que apresenta uma diferença muito baixa. A estação de General Torres apresenta maior diferença que as restantes devido ao facto de ser a estação onde o ruído produzido pela mensagem sonora ser muito menor comparado com as restantes estações, apesar de também ser a estação onde o ruído de partida é menor, a diferença para as restantes estações neste tipo de ruído é menor que a diferença da estação de General Torres para as restantes estações na mensagem sonora.

6.2.9. RUÍDO NA SALA DE ESPERA

No Quadro 6.41 estão presentes os valores médios, média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e média aritmética para os restantes níveis sonoros, do ruído existente na sala de espera das estações alvo de estudo.

A média logarítmica do nível sonoro contínuo equivalente para o ruído existente na sala de espera é maior na estação de São Bento, com 67,8 dB(A) e menor na estação de Campanhã, com 63,4 dB(A). A sala de espera da estação de São Bento é a que apresenta maior ruído dado que esta mais exposta ao ruído existente na estação que as restantes estações, dado que as outras duas salas encontram-se mais isoladas que esta. A estação de Devesas apresenta maior média de nível sonoro contínuo equivalente

que a estação de Campanhã, porque esta para além de servir de sala de espera é o local onde funciona a bilheteira logo há mais ruído proveniente da circulação de passageiros. A diferença entre a estação de maior e menor valor médio é de 4,4 dB(A) sendo que esta relacionada com a maior exposição e menor isolamento ao ruído da sala de espera existente em São Bento.

Quadro 6.41 – Valores médios dos parâmetros avaliados para o ruído produzido pela mensagem sonora nas estações alvo de estudo.

Parâmetros (dB)	Ruído na Sala de Espera			Máx - Min (entre estações)
	Estações Ferroviárias			
	FC	FSB	FD	
L_{Aeq}	63,4 -	67,8 +	66,5	4,4
L_{A10}	64,8 -	68,8 +	66,8	4,0
L_{A50}	60,8 -	65,0 +	61,0	4,2
L_{A90}	58,5	64,0 +	58,0 -	6,0
L_{Amax}	80,3 +	80,1	73,8 -	6,5
L_{Amin}	57,4	63,1 +	55,6 -	7,5
ΔL_A	22,9 +	17,1 -	18,2	5,8
L_{Aeq} (Ruído Ambiente)	59,5	74,9	56,5	-
ΔL_A^{49}	3,9	-7,1	10,0	-

. 49- Diferença entre o ruído existente na sala de espera e o ruído ambiente existente na estação (local exterior); FC- Estação Ferroviária de Campanhã; FSB- Estação Ferroviária de São Bento; FD- Estação Ferroviária das Devesas;

No nível sonoro estatístico L_{A10} a média aritmética é maior na estação de São Bento, com 68,8 dB(A) e menor na estação de Campanhã, com 64,8 dB(A). No nível sonoro estatístico L_{A50} a média aritmética é maior em São Bento, com 65,0 dB(A) e menor em Campanhã, com 60,8 dB(A). Como a ordem destes parâmetros é a mesma do nível sonoro contínuo equivalente as razões aplicadas neste são as mesmas que se aplicam para estes dois parâmetros. As diferença existente no L_{A10} é de 4,0 dB(A) e de 4,2 dB(A) no L_{A50} , entre as estações de São Bento e de Campanhã, como as estações são as mesmas e a diferença é muito semelhante ao que se regista no nível sonoro contínuo equivalente a justificação enunciada é a mesma que se aplica neste caso.

No nível sonoro estatístico L_{A90} a media aritmética maior é de 64,0 dB(A) em São Bento e a menor é de 58,0 dB(A) em Devesas, isto porque o ruído devido à circulação de passageiros perceptível na estação de Campanhã, em comparação com Devesas, é maior que em Devesas. Já a estação de São Bento apresenta maior valor médio devido ao maior ruído existente na estação. A diferença para este nível sonoro estatístico é de 6,0 dB(A), ligeiramente superior às diferenças anteriormente enunciadas, devido á maior homogeneidade de ruído na sala de espera de São Bento em relação á estação de Devesas.

No nível sonoro máximo a média aritmética é maior na estação Campanhã, com 80,3 dB(A) e menor na estação de Devesas, com 73,8 dB(A). A estação de Campanhã apresenta maior valor neste nível sonoro o que indica a existência de eventos que condicionaram o valor máximo, nomeadamente devido á circulação e comboios na estação e não devido ao ruído existente propriamente na sala. A seguir é a estação de São Bento devido à influência do existente no exterior da sala de espera (maior ruído ambiente

nesta estação). A diferença entre as estações de maior e menor valor médio é de 6,5 dB(A) resultante da maior exposição da sala de espera de Campanhã a maiores ruídos provenientes do exterior e aos ruídos provenientes da circulação de passageiros em movimento em relação às restantes estações.

A média aritmética do nível sonoro mínimo, L_{Amin} , é maior na estação de São Bento, com 63,1 dB(A) e menor na estação de Devesas, com 55,6 dB(A), sendo esta a mesma ordem que existe no nível sonoro estatístico de percentil 90, dado que as razões enunciadas são as mesmas em ambos, dada a ligação existente entre o nível sonoro estatístico LA_{90} e o nível sonoro mínimo. A diferença de valores entre as estações de São Bento e de Devesas é de 7,5 dB(A) sendo que é a maior diferença existente nos parâmetros, devido a maior ruído ao longo de todas as medições em São Bento em relação as maiores oscilações existentes nas restantes estações.

Do ponto de vista do passageiro será interessante perceber onde o ruído existente é menor ou se na estação ou se na sala de espera, no cálculo da diferença entre o ruído existente na sala de espera e o ruído ambiente permitiu perceber que nas estações de Campanhã e Devesas o ruído existente na sala de espera é superior ao ruído existente no exterior da estação, uma diferença de 3,9 dB(A) em Campanhã e 10,0 dB(A), isto acontece porque no exterior das estações há uma maior dissipação do ruído enquanto que na sala de espera o maior ruído produzido pelos passageiros e pela zona de bilheteira em Devesas condicionam estes valores, também explicado pela falta ou fraco isolamento acústico existente nas mesmas. A única estação avaliada em que o ruído é menor na sala de espera é a estação de São Bento, uma diferença de 7,1 dB(A) face ao ruído ambiente devido à maior ruído provenientes dos comboios na plataforma, enquanto que na sala de espera essa exposição é menor.

6.3. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE AVALIAÇÕES DE RUÍDO NOUTROS PAÍSES.

6.3.1. RUÍDO FERROVIÁRIO

6.3.1.1 Cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul (Brasil)

O estudo realizado na cidade de Ijuí apresenta valores de ruído ambiente dos locais onde se efetuaram as medições. Tendo em conta esses valores e aqueles medidos nesta dissertação, irá ser realizada uma comparação para perceber em qual dos países, com base na amostra dos dados de ambos, a quantificação do ruído existente. No Quadro 6.42 estão expostos os valores médios do nível sonoro contínuo equivalente para as estações ferroviárias e rodoviárias objeto de estudo e a média logarítmica (dos Locais A e B).

Com base nas estações ferroviárias, o ruído ambiente só é superior aos locais da cidade de Ijuí na estação ferroviária de São Bento, dado que nesta estação a permanência de comboios parados na estação e o por consequente o ruído produzido por estes, influencia os valores medidos do ruído ambiente. Os valores das estações rodoviárias são os mais próximos daquelas da cidade de Ijuí, isto porque, como ambos os locais situam-se no interior da cidade, as medições estão condicionadas pelo maior ruído urbano. Salvo a estação de São Bento, que se situa na Baixa do Porto, e a estação de Espinho, onde o ruído urbano não influencia por ser uma estação subterrânea, as restantes estações situam-se em zonas periféricas das cidades, onde o ruído urbano é reduzido e não tem qualquer influência nas medições.

Quadro 6.42 – Nível sonoro contínuo equivalente para o ruído ambiente das estações de Portugal e nos locais da cidade de Ijuí.

Países	Local	Ruído Ambiente (dB (A))
Portugal	Estação de Campanhã	59,5
	Estação de São Bento	74,9
	Estação de General Torres	57,7
	Estação das Devesas	56,5
	Estação de Espinho	48,5
	Estação da Casa da Música	67,1
	Estação do Parque das Camélias	65,2
Brasil [17]	Cidade de Ijuí	67,4

Além do ruído ambiente foi também avaliado o ruído de passagem do material circulante. Como nesta dissertação em algumas das estações não foram avaliados o ruído de passagem, dado que este não existia, no quadro seguinte (Quadro 6.43) só irão ser apresentados os valores nas estações onde este ruído foi avaliado. O valor apresentado para a cidade de Ijuí é o valor médio (calculado pela média logarítmica) dos dois locais a uma distância de 15m. Nas estações ferroviárias desta dissertação o ruído de passagem engloba comboios de passageiros e de mercadorias, enquanto que este estudo só engloba comboios de mercadorias.

Quadro 6.43 – Nível sonoro equivalente para o ruído de passagem dos veículos nas estações de Portugal e locais do Brasil.

Países	Local	Ruído de Passagem (dB (A))
Portugal	Estação de General Torres	93,2
	Estação das Devesas	91,0
	Estação de Espinho	91,1
	Estação da Casa da Música	73,1
	Estação do Parque das Camélias	67,6
Brasil [17]	Cidade de Ijuí¹	93,2

. 1 – Medição realizada a 15 m da fonte sonora.

Face aos valores apresentados os valores medidos na cidade de Ijuí são semelhantes aos da estação de General Torres e superior as restantes estações. De realçar que a distância do local de medição à fonte sonora em Ijuí (15 m) é superior ao realizado nesta dissertação (na maior parte dos casos, 2 m), o que indica a uma distância semelhante em Ijuí os valores seriam superiores. O facto de os valores serem superiores a uma distância semelhante em todas as estações justifica-se pela maior velocidade de circulação nos locais da cidade de Ijuí (não são estações) em compensação à velocidade controlada de circulação nas estações.

6.3.1.2. Malásia

O estudo realizado nas estações ferroviárias da Malásia apresenta valores para o ruído existe na estação com e sem comboios, ruído máximo e mínimo, respetivamente. Para ser possível comparar com os dados das estações alvo de estudo nesta dissertação, considera-se o ruído ambiente para o ruído mínimo e ruído do comboio estacionado para o ruído máximo. No Quadro 6.44 podem ser visualizados os valores das medições nas estações de ambos os países.

Quadro 6.44 – Nível sonoro contínuo equivalente e nível sonoro máximo para o ruído ambiente e ruído do veículo estacionado, respetivamente, nas estações de Portugal e da Malásia.

País	Estações	Ruído Ambiente (dB(A))	Ruído máximo do veículo estacionado (dB(A))
Portugal	Campanhã	59,5	82,9 ¹
	São Bento	74,9	80,1 ¹
	General Torres	57,7	Não avaliado
	Devesas	56,5	Não avaliado
	Espinho	48,5	Não avaliado
	Casa da Música	67,1	78,1 ¹
	Parque das Camélias	65,2	72,7 ¹
Malásia [19]	Kluang	53,1	89,6
	Segamat	46,4	85,4
	Gemas	43,2	93,9
	Kuala Lumpur	57,9	90,4

.1 – Nível sonoro máximo (L_{Amax})

Tendo em conta o ruído ambiente é a estação de São Bento, no Porto que apresenta o maior nível sonoro contínuo equivalente devido à permanência dos comboios parados na estação. Enquanto que a estação de maior nível sonoro na Malásia só apresenta maior nível sonoro que as estações de General Torres, Devesas e Espinho. A segunda estação que apresenta maior nível sonoro na Malásia, Kluang, só apresenta maior valor que a estação de Espinho. As restantes estações desse país apresentam menores valores que todas as estações objeto de estudo nesta dissertação. Apesar de a estação de Kuala Lumpur ter uma morfologia semelhante à de São Bento, o facto de haver uma maior existência de comboios na estação condiciona esses valores, já que em Kuala Lumpur aquando da medição do ruído ambiente não existia nenhum comboio na estação. O facto de Kuala Lumpur apresentar maior valor que algumas estações ferroviárias deve-se ao ruído existente na estação proveniente da zona comercial. [19]

Relativamente ao nível sonoro máximo nas estações com a presença de comboios todas as estações da Malásia apresentam maiores valores que as estações estudadas nesta dissertação, devido à maior proximidade das medições aos locais de maior produção de ruído, como o motor e linha ferroviária, enquanto que nas estações portuguesas o local de medição foi homogéneo, ou seja, não teve como objeto de estudo o particular mas sim o geral.

6.3.2. RUÍDO RODOVIÁRIO

6.3.2.1. Toronto (Canadá)

Um estudo realizado em Toronto apresenta valores para o ruído de chegada ou de partida dos autocarros às estações, medido pelo nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) e nível sonoro máximo (L_{Amax}). Para ser possível comparar os valores deste estudo com os desta dissertação foram considerados o ruído de chegada e de partida, dado que, apesar de o estudo apresentar o valor médio dos dois tipos de ruído, o modo com se desenvolve, como é possível visualizar nesta dissertação, é diferente, na generalidade dos casos o ruído de chegada apresenta maior valor que o ruído de partida, devido à diferente velocidade de circulação.

Tendo em conta os valores apresentados quando ambos os locais de medição são nas plataformas os valores existentes em Toronto são superiores às estações desta dissertação, tanto para o nível sonoro contínuo equivalente como para o nível sonoro máximo. se for considerado o caso do ruído de partida, uma diferença de 2,9 dB(A) para o nível sonoro equivalente e 37,9 dB (A) para o nível sonoro máximo. No entanto quando o caso de estudo é o ruído de chegada, a estação das Devesas apresenta maior nível sonoro contínuo equivalente que em Toronto, devido à maior proximidade à fonte sonora. Enquanto que o nível sonoro máximo, face ao ruído de chegada apresenta uma diferença de 33,4 dB(A). O facto de um Toronto por vezes, apresentar maior ruído que em Portugal, pode estar relacionado com o maior tráfego de circulação de passageiros (maior número de utentes numa estação) e com o maior tráfego rodoviário, apesar de o ruído produzido pelo comboio ser superior ao ruído produzido pelo autocarro.

Relativamente à situação de medida no interior dos comboios em Toronto, a estação de São Bento apresenta maior nível sonoro contínuo equivalente para o ruído de partida que esta situação em Toronto e a estação de Espinho apresenta o mesmo valor para o nível sonoro contínuo equivalente de partida. Face ao ruído de chegada as estações de São Bento, das Devesas e de Espinho apresentam maior nível sonoro contínuo equivalente. Apesar de se espectável que no interior do comboio o ruído a que um utente se encontre exposto seja menor que no exterior, em Toronto, esse valor de exposição é maior que em algumas estações de Portugal, como General Torres, Casa da Música e do Parque das Camélias.

Quadro 6.45 – Nível sonoro contínuo equivalente e nível sonoro máximo para o ruído de partida e de chegada dos veículos nas estações de Portugal e dos locais de Toronto (Canadá).

País	Local	Ruído de Partida		Ruído de Chegada	
		L _{Aeq} (dB)	L _{Amax} (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{Amax} (dB)
Portugal	Estação de Campanhã	75,7	79,5	77,2	84,2
	Estação de São Bento	76,8	79,4	76,6	83,5
	Estação de General Torres	73,1	77,5	72,9	78,1
	Estação das Devesas	74,7	82,5	83,4	87,0
	Estação de Espinho	76,3	80,7	78,4	82,1
	Estação da Casa da Música	75,0	81,0	70,1	75,5
	Estação do Parque das Camélias	74,4	77,8	Não Avaliado	Não Avaliado
Canadá [26]	Toronto (Plataformas)	79,7	120,4	79,7	120,4
	Toronto (Interior do Veículo)	76,3	103,6	76,3	103,6

6.3.1.5. Uberlândia, Minas Gerais (Brasil)

Um estudo realizado num município de Minas Gerais apresenta valores para o nível sonoro contínuo equivalente da circulação de autocarros, a uma velocidade de 20 km/h. Para se poder comparar com os valores apresentados nesta dissertação, será considerado o ruído de partida, devido a menor velocidade de circulação dos veículos neste ruído, que se aproxima com os valores do estudo. No Quadro 6.46 estão expostos os valores em ambas as estações, do estudo e desta dissertação.

Face aos resultados apresentados, a estação Central e de Sta. Luzia, da Uberlândia apresenta, maior valor médio que as restantes estações alvo de estudo, sendo que a Central é a estação mais ruidosa. A estação menos ruidosa avaliada é a estação do Planalto na Uberlândia. Apesar de o objeto de estudo de Minas Gerais ser autocarros, e apesar destes produzirem menor ruído que os comboios, estes locais do Brasil apresentam maior ruído produzido pelos autocarros que pelos comboios, este facto pode estar relacionado com o diferente tráfego de passageiros e com os diferentes estados de conservação dos veículos.

Quadro 6.46 – Nível sonoro contínuo equivalente para o ruído de veículos a uma velocidade de circulação baixa nas estações de Portugal e do Brasil.

País	Estações	L_{Aeq} (dB)
Portugal	Campanhã	75,7
	São Bento	76,8
	General Torres	73,1
	Devesas	74,7
	Espinho	76,3
	Casa da Música	75,0
	Parque das Camélias	74,4
Brasil [27]	Central	80,0
	Planalto	72,1
	Umuarama	76,0
	Industrial	73,3
	Sta. Luzia	77,6

7

COMPARAÇÃO COM O METRO DO PORTO

7.1. INTRODUÇÃO

Nesta dissertação foram analisadas as estações ferroviárias e rodoviárias. No entanto, é interessante comparar os resultados obtidos com outros tipos de locais similares como as estações de Metro, de modo a perceber em qual dos tipos de estações (ferroviárias, rodoviárias ou de metro) os utentes estão expostos a maiores ruídos. Os dados relativos às estações de Metro são pertencentes à dissertação “Caracterização Acústica de Estações de Metro” [1] escrita pelo Eng. Jorge David Nascimento da Costa, tendo sido avaliadas as estações de Faria Guimarães, Heroísmo e Salgueiros, no Porto.

7.2. COMPARAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTE NAS ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS, RODOVIÁRIAS E DE METRO

Neste subcapítulo irá ser comparado o “ruído ambiente” entre as estações, sendo que as condições existentes das estações de Metro são semelhantes às estações ferroviárias e rodoviárias, exceto a estação de São Bento devido às condições impostas pelo ruído proveniente dos comboios estacionados na estação. A morfologia e constituição das estações de metro são semelhantes à estação ferroviária de Espinho, ambas subterrâneas.

Quadro 7.1 – Valores das médias do nível sonoro contínuo equivalente e níveis sonoros estatísticos para o ruído ambiente existentes nas estações do Metro do Porto [1].

Estações de Metro	L _{Aeq} (dB)	L _{A5} (dB)	L _{A50} (dB)	L _{A95} (dB)
Faria Guimarães	55,7	56,7	51,6	48,8
Heroísmo	60,3	60,9	59,3	58,2
Salgueiros	54,7	58,8	51,8	36,3

As médias apresentadas no Quadro 7.1 (média logarítmica para o nível sonoro contínuo equivalente e médias aritméticas para os níveis sonoros estatísticos) foram calculadas tendo em conta as duas medições realizadas na tese mencionada para o ruído de fundo das estações sem comboios.

Calculados os valores das médias para as estações de metro é realizada a comparação dos valores com os valores obtidos para as medições das estações ferroviárias e rodoviárias, cujos valores podem ser observados no Quadro 7.2.

Quadro 7.2 – Valores das médias do nível sonoro equivalente e níveis sonoros estatísticos para o “ruído ambiente” existente nas estações ferroviárias, rodoviárias e de metro [1].

		Ruído Ambiente (dB)			
Estações		L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}
Ferrovias	Campanhã	59,5	60,0	56,5	55,0
	São Bento	74,9 +	75,4 +	72,8 +	71,1 +
	General Torres	57,7	58,9	54,8	52,3
	Devesas	56,5	59,3	51,7	48,4
	Espinho	48,5 -	49,8 -	44,8 -	41,1
Rodovias	Casa da Música	67,1	68,1	63,0	59,6
	Parque das Camélias	65,2	66,4	63,3	61,6
Metro	Faria Guimarães	55,7	56,7 ¹	51,6	48,8 ²
	Heroísmo	60,3	60,9 ¹	59,3	58,2 ²
	Salgueiros	54,7	58,8 ¹	51,8	36,3 ² -
Máx - Mín (entre as estações)		26,4	25,6	28,0	34,8

. 1 – Nas estações de metro este nível sonoro estatístico é o LA5; 2 – Nas estações de metro este nível estatístico é o LA95;

Face aos valores apresentados a estação de metro com maior valor médio de nível sonoro contínuo equivalente é a estação do Heroísmo e apresenta menores valores que a estação ferroviária de Campanhã e as estações rodoviárias da Casa da Música e do Parque das Camélias devido à existência do ruído produzido pelos comboios parados em São Bento (os comboios não estão em circulação) e o maior ruído urbano existentes nas estações rodoviárias. O ruído provocado pelo funcionamento das escadas rolantes e pelo escoamento de água em tubagens existentes junto da linha condicionam o ruído ambiente nesta estação, daí que esta apresente maior valor médio de ruído ambiente que as restantes estações ferroviárias e de metro. A estação de metro de Faria Guimarães apresenta maior valor médio de nível sonoro contínuo equivalente que as estações ferroviárias de Devesas e Espinho e que a estação de metro

de Salgueiros. A estação de Salgueiros apenas apresenta maior valor médio que a estação de Espinho, segundo a tese “Caracterização Acústica de Estações de Metro” as diferenças entre estas estações estão relacionadas com o diferente estado de funcionamento das escadas rolantes [1]. A estação de Espinho acaba por ser a estação com menor valor médio devido a ser subterrânea, tal como acontece com as estações de metro, e como é uma estação recente apresenta um bom funcionamento de escadas rolantes, estas entram em suspensão quando não existe circulação de passageiros, por isto é que a estação de Espinho apresenta menores valores que as restantes, para além do tratamento acústico existente na estação, com materiais absorventes (de realçar que apesar das estações de metro e de Espinho terem tratamento acústico, não é claro se o que foi realizado em obra é o mesmo que se encontra previsto no projecto). A diferença entre as estações de maior e menor valor médio é de 26,4 dB(A) estando dependentes do maior ruído ambiente existente na estação de São Bento devido ao ruído produzido pelos comboios quando se encontram parados em contrapartida ao menor ruído existente em Espinho por ser uma estação subterrânea e por conter materiais absorventes nas suas superfícies.

O primeiro nível sonoro estatístico é diferente entre as estações, L_{A10} para as estações ferroviárias e rodoviárias e L_{A5} para as estações de metro. A diferença entre estes parâmetros prende-se com o facto de que no primeiro caso esta englobado os valores maiores em 10% do tempo e no segundo caso os maiores valores em 5% tempo, isto implica que em condições semelhantes o L_{A5} apresenta maiores valores que o L_{A10} . No entanto a estação de metro do Heroísmo apresenta menores valores que a estação de São Bento e as estações rodoviárias e maiores que as restantes, a estação de metro de Salgueiros apresenta maiores valores que a estação de metro de Faria Guimarães e a estação ferroviária de Espinho e a estação de metro de Faria Guimarães só apresenta maior valor médio que a estação de Espinho, isto indica que os maiores ruídos das estações ferroviárias e rodoviárias são na maior parte dos casos superior às estações de metro. A diferença entre as estações de São Bento e de Espinho, estações com o maior e menor valor médio é de 25,6 dB(A), sendo que este valor pode ser justificado, uma vez que é entre as mesmas estações e é um valor semelhante à diferença do nível sonoro contínuo equivalente, pelas mesmas razões enunciadas anteriormente.

Para o nível sonoro estatístico L_{A50} a estação do Heroísmo apresenta menores valores para este parâmetro que a estação ferroviária de São Bento e as estações rodoviárias da Casa da Música e do Parque das Camélias, pelas razões enunciadas para o nível sonoro equivalente. A estação de Salgueiros apresenta maior valor médio que as estações ferroviárias de Devesas e Espinho e que a estação de metro de Faria Guimarães. A estação de metro de Faria Guimarães do apresenta maior valor que a estação de Espinha, isto implica que na globalidade da análise tudo se mantenha igual, a estação de Espinho apresenta o menor valor de ruído ambiente e a estação de São Bento apresenta o maior valor ruído ambiente. A diferença entre as estações que apresentam maior e menor valor médio, São Bento e Espinho (por essa ordem) é de 28,0 dB(A) pode ser justificado pelos mesmos motivos enunciados nos anteriores parâmetros no entanto este valor é maior, dado que enquanto que na estação devido ao enorme ruído proveniente dos comboios parados na estação torna os valores da medição quase constantes no intervalo de tempo, na estação de Espinho há um decaimento de ruído mais significativo que em São Bento, daí que a diferença aumente.

Tal como acontece no primeiro nível sonoro estatístico estudado o último nível sonoro estatístico estudado é diferente, L_{A90} para as estações ferroviárias e rodoviárias e L_{A95} para as estações de metro, ou seja, em condições de estudo semelhantes os valores de L_{A95} são menores que os valores de L_{A90} . Apesar disso a estação de metro do Heroísmo só apresenta menores valores médios que a estação ferroviária de São Bento e as estações rodoviárias. A estação de metro de Faria Guimarães apresenta maiores valores que as estações ferroviárias de Devesas e Espinho e a estação de metro de Salgueiros, esta acaba por ser a estação com menor nível sonoro estatístico. Tendo em conta o que avaliado e os

resultados obtidos a estação de Salgueiros num dado intervalo de tempo e a estação com menor exposição de ruído. A diferença entre a estações de São Bento, com maior valor médio e a estação de Salgueiros, com menor valor médio, é de 34,8 dB(A) sendo que é a maior diferença registada para os parâmetros em estudo, isto é causado pelo maior ruído existente em São Bento proveniente dos comboios parados em virtude do menor ruído existente na estação de Salgueiros por ser subterrânea, no entanto como provavelmente tem mais isolamento acústico que as restantes estações de metro e de Espinho, é a estação que detém menor valor médio para este parâmetro.

7.3. COMPARAÇÃO DO RUÍDO DE CIRCULAÇÃO DO MATERIAL CIRCULANTE NAS ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS, RODOVIÁRIAS E DE METRO

Para além do ruído ambiente existente nas estações (sem movimento de veículos) outra situação pertinente de avaliar é o ruído existente na estação quando há a circulação dos meios de transporte. A situação equivalente medida nas estações ferroviárias e rodoviárias à circulação do metro é o “ruído da chegada á partida”. No entanto, nas estações de Campanhã e do Parque das Camélias, esse tipo de ruído não foi avaliado, pelo que para ser possível a comparação, nestas estações vai ser considerado o ruído de partida, uma vez que é o tipo de ruído que apresenta os valores mais próximos do ruído dá chegada á partida. Como no ruído da chegada à partida é medido um intervalo de tempo onde há a predominância de valores mais baixos, considerar o ruído de chegada (ruído mais intenso que o de partida) seria majorar os valores.

Os valores que permitem a análise do ruído produzido pela circulação do metro do Porto e obtidos a partir da tese anteriormente mencionada, estão presentes no Quadro 7.3. Na estação de Faria Guimarães os resultados obtidos na medição no metro do Porto são afetos a circulação de um metro nas mesmas situações que os veículos avaliados nesta dissertação. A estação do Heroísmo apresenta um intervalo de valores dado que foram realizadas duas medições, uma regista o ruído produzido pelo metro na linha mais próxima a outra é relativa ao ruído produzido na linha mais afastada. Na estação de Salgueiros são apresentados dois valores uma vez que no primeiro esta presente o ruído produzido pela circulação de um metro na estação, como acontece em Faria Guimarães, e o segundo valor é referente ao ruído produzido pela circulação de dois veículos em simultâneo.

Quadro 7.3 – Valores das médias do nível sonoro equivalente e níveis sonoros estatísticos para o ruído de circulação do metro nas estações do metro do Porto [1].

Estações de Metro	L _{Aeq} (dB)	L _{A5} (dB)	L _{A50} (dB)	L _{A95} (dB)
Faria Guimarães	76,6	82,8	74,0	63,8
Heroísmo ¹	83,5 a 84,0	90,2 a 90,4	76,0 a 80,6	62,2 a 71,2
Salgueiros	71,1	76,0	69,6	58,4
	75,1 ²	79,8 ²	70,8 ²	62,6 ²

. 1 – Um valor é referente a um comboio na linha mais próxima e o outro a um comboio da linha mais afastada;
2- valor referente á circulação de dois comboios.

Tendo em conta os valores apresentados no Quadro 7.4, para o nível sonoro contínuo equivalente é a estação do Heroísmo onde existe um maior ruído. Para a estação de Faria Guimarães só a estação ferroviária de São Bento apresenta maior valor médio, para além da estação de Heroísmo, se for considerado apenas a circulação de um veiculo a estação de Salgueiros é a estação avaliada a que

apresenta menor valor médio, no entanto se for considerado o efeito dos dois metros em circulação o valor aumenta e passa a apresentar maiores valores que as estações rodoviárias da Casa da Música e do Parque das Camélias. As estações de Metro foram alvo de intervenções acústicas com o intuito de diminuir o ruído (absorção sonora) o que implica que apresentem diferentes valores dado que ao contrário do que acontece nas estações ferroviárias e rodoviárias, o seu material circulante é do mesmo tipo. A estação de Espinho foi alvo de tratamento acústico, nomeadamente com a implementação de material absorvente nas superfícies do Cais.

Quadro 7.4 – Valores das médias do nível sonoro equivalente e níveis sonoros estatísticos, para o ruído de circulação dos meios de transporte nas estações [1].

Ruído de Circulação de Veículos (dB)						
Estações		Média (L_{Aeq})	L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}
Ferroviárias	Campanhã ¹	76	76,2	75,5	70,4	65,7
	São Bento ²		76,8	77,5	75,9	74,4 +
	General Torres ¹		74,9	77,2	69,0 -	63,4
	Devesas ¹		75,9	78,0	69,7	64,7
	Espinho ¹		75,5	77,3	74,5	70,5
Rodoviárias	Casa da Música ¹	74	72,6	73,7 -	69,8	67,7
	Parque das Camélias ²		74,4	75,1	71,1	67,8
Metro	Faria Guimarães ¹	78	76,6	82,8 ³	74,0	63,8 ⁴
	Heroísmo ¹		83,5 a 84,0 +	90,2 a 90,4 ³ +	76,0 a 80,6(+)	62,2 a 71,2 ⁴
	Salgueiros ¹		71,1 -	76,0 ³	69,6	58,4 ⁴ -
			75,1	79,8 ³	70,8	62,6 ⁴
Máx - Mín (entre as estações)		$\cong + 4$ dB(A) p R	12,7	16,6	11,6	16,0
		$\cong + 2$ dB(A) p F				

. 1 – Ruído da Chegada à Partida; 2 – Ruído de Partida; 3 – L_{A5} ; 1- L_{A95}

O primeiro nível sonoro estatístico é diferente entre as estações, L_{A10} para as estações ferroviárias e rodoviárias e L_{A5} para as estações de metro e como foi referido anteriormente em condições semelhantes o L_{A5} apresenta maiores valores que o L_{A10} , isto acontece em todas as estações exceto quando se avalia um só comboio na estação de Salgueiros, que para este caso, apresenta valores inferiores que São Bento,

General Torres, Devesas e Espinho, sendo que em Devesas e Espinho é devido terem condições especiais que condicionam os valores máximos com maior efeito nos comboios mais ruidosos, como alfa pendulares e intercidades, na estação de São Bento é devido à contribuição do ruído proveniente dos comboios parados e a estação de General Torres é devido ao menor intervalo de tempo entre a chegada e a partida.

Para o nível sonoro estatístico L_{A50} a estação do Heroísmo apresenta maiores valores, a estação de Faria Guimarães apresenta valores inferiores que as estações ferroviárias de São Bento e Espinho, no primeiro devido ao ruído residual existente ao longo de toda a medição, no segundo caso é devido ao maior ruído de compressor (motor) proveniente dos comboios mais ruidosos e o seu inflacionamento por ser uma estação subterrânea (maior campo reverberado), apesar de as estações de metro também serem subterrâneas sofreram tratamentos acústicos. A estação de Salgueiros se for apenas considerado um só comboio a circular só apresenta maior valor médio que a estação rodoviária da Casa da Música, se for considerado o efeito dos dois comboios apresenta valores superiores à estação de Campanhã, General Torres, Devesas e Casa da Música, sendo que estes fatores dependem do maior tratamento acústico existente na estação de Salgueiros e do menor ruído compressor dos comboios suburbanos e autocarros da STCP em contrapartida ao maior ruído de compressor dos comboios alfa pendulares, inter-regionais e intercidades e autocarros de outras empresas que não seja a STCP.

Como acontece no primeiro nível sonoro estatístico estudado o último nível sonoro estatístico estudado é diferente, L_{A90} para as estações ferroviárias e rodoviárias e L_{A95} para as estações de metro, ou seja, em condições de estudo semelhantes os valores de L_{A95} são menores que os valores de L_{A90} . Se for considerado as medições do metro a circular na via mais próxima da medição a estação do Heroísmo e de Salgueiros apresentam valores inferiores que as restantes estações quer de ferrovia quer de rodovia, no entanto a estação de Faria Guimarães apresenta maior valor que a estação de General Torres, isto pode estar relacionado com a possibilidade de o metro produzir maior ruído de compressor que os comboios suburbanos, isto não acontece nas restantes estações devido aos maior ruído de compressor dos comboios mais ruidosos e do maior ruído do motor dos autocarros e do maior ruído residual que influencia os menores valores das medições. Se for considerado o valor registado para a circulação do comboio na linha mais afastado no Heroísmo só é inferior à média existente na estação de São Bento, podendo ser explicado pelo maior ruído residual nesse momento da medição que só é inferior ao maior ruído residual da estação de São Bento.

Relativamente à diferença entre as estações de maior e menor valor médio de nível sonoro contínuo equivalente, neste caso Heroísmo e Salgueiros, de 12,7 dB(A) resultante da diferença entre o valor médio das duas medições referentes à estação de Heroísmo e à menor medição da estação de Salgueiros, sendo que esta diferença está relacionada, uma vez que a fonte sonora é do mesmo tipo, com o diferente isolamento acústico existente nas estações, em maior quantidade na estação de Salgueiros e com a possível diferença de circulação de passageiros e uso das escadas rolantes no momento das medições. A diferença entre as estações de maior e menor valor médio no nível sonoro estatístico LA_{10} é de 16,6 dB(A) e é referente a diferença entre a estação de Heroísmo (Metro) e a estação da Casa da Música (Rodoviária) sendo que, como este parâmetro remete para os maiores valores de uma medição, no caso LA_5 medido no metro os valores são na generalidade maiores que os restantes. Apesar disso a diferença está relacionada com o maior ruído produzido pelos veículos do metro em compensação com o ruído produzido pelos autocarros.

Em suma, se considerarmos de um modo geral o ruído efetuado por cada tipo de veículo e tendo em conta o nível sonoro contínuo equivalente, o ruído produzido nas estações de metro é superior em 2 dB(A) ao ruído produzido nas estações ferroviárias e em 4 dB(A) ao ruído produzido nas estações rodoviárias.

8

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

8.1. CONCLUSÕES

Tendo em conta a análise elaborada nas estações ferroviárias e rodoviárias o maior ruído produzido e aquele que leva a maiores preocupações, é o ruído produzido pela circulação dos veículos nas vias, sem efetuarem paragem na estação (mais relevante no caso dos comboios), sendo que, em certas situações, os valores mais elevados são perigosos para a saúde e bem-estar dos utentes destas estações, quer passageiros quer trabalhadores afetos às estações. A avaliação do ruído produzido pela mensagem sonora e o ruído existente na sala de espera permite perceber, no primeiro caso, se a transmissão de informação é audível pelos utentes e, no segundo caso, em que zona da estação a exposição ao ruído é menor. Relativamente ao ruído ambiente, existem vários fatores que inflacionam os valores das medições deste tipo de ruído, é importante analisa-los de modo a poder reduzi-los e assim diminuir os níveis de ruído nas estações, sem a circulação dos veículos.

Para a realização deste trabalho foram avaliadas cinco estações ferroviárias e duas estações rodoviárias. As estações ferroviárias foram as estações de Campanhã, de São Bento, de General Torres, das Devesas e de Espinho, sendo que as estações de General Torres e Devesas se localizam em Vila Nova de Gaia. Os terminais rodoviários avaliados foram o terminal da Casa da Música, na Boavista, no concelho do Porto e o terminal do Parque das Camélias, na Batalha, na Baixa do Porto. Nestas estações foram medidos vários tipos de ruído como: ruído de chegada, ruído de partida, ruído da chegada à partida, ruído de passagem, ruído do veículo estacionado (estes tipos de ruído enunciados até ao momento estão associados ao ruído produzido pelos veículos), ruído ambiente, ruído da mensagem sonora e ruído na sala de espera. Para a avaliação destes ruídos foram utilizados o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , níveis sonoros estatísticos de quartil 10, 50 e 90 (L_{A10} , L_{A50} e L_{A90}) e níveis sonoros máximo, L_{Amax} , e mínimo, L_{Amin} . No quadro 8.1 estão expostos os valores do nível sonoro contínuo equivalente para os diversos tipos de ruído das estações que apresentaram maior e menor valor médio, tendo como base de cálculo a média logarítmica. De salientar, conforme foi demonstrado em capítulos anteriores, que nem todos os tipos de ruído foram avaliados em todas as estações.

Tendo em conta os valores apresentados, de um modo geral, as estações ferroviárias apresentam mais ruído que as estações rodoviárias, isto porque, o ruído produzido pelos comboios e locomotivas é superior ao ruído produzido pelos autocarros. O local onde um utente pode esperar maior pico de ruído é na estação de General Torres devido á circulação em maior número de comboios sem paragem, de mercadorias e de passageiros, sendo que é este tipo de ruído o que apresenta maiores valores. No entanto

em Campanhã, devido ao elevado ruído residual, um passageiro está sempre exposto a um elevado ruído, na ordem dos 75,0 dB(A), devido aos maiores valores mínimos, em virtude das maiores oscilações de ruído existentes nas restantes estações.

Quadro 8.1 – Valores médios do nível sonoro contínuo equivalente para as estações de maior e menor produção de ruído para os diferentes tipos.

Tipos de Ruído	Estação de maior valor médio (dB(A))	Estação de menor valor médio (dB(A))
Ruído de Chegada	Devesas 83,4	Casa da Música 70,1
Ruído de Partida	Espinho 76,3	General Torres 73,1
Ruído da Chegada à Partida	Campanhã 76,2	Casa da Música 72,6
Ruído do Veículo Estacionado	Campanhã 79,8	Parque das Camélias 68,0
Ruído de Passagem (sem paragem)	General Torres 93,2	Parque das Camélias 67,6
Ruído Ambiente	São Bento 74,9	Espinho 48,5
Ruído da Mensagem Sonora	São Bento 76,4	General Torres 65,6
Ruído na Sala de Espera	São Bento 67,8	Campanhã 63,4

Os locais onde um utente está exposto a menores ruídos são as estações rodoviárias, nomeadamente na estação do Parque das Camélias, apesar de o ruído ambiente nestas estações ser por vezes superior a algumas estações ferroviárias devido ao maior ruído residual.

No Quadro 8.2 é possível constatar que, considerando o ruído de passagem de veículos sem paragem e o ruído ambiente, existe um acréscimo de 24,2 dB(A) nas estações aquando da passagem de um meio de transporte sem realizar a paragem.

Quadro 8.2 – Diferença média nas estações com e sem circulação de veículos.

	L_{Aeq} (médio) (dB)	ΔL_A (dB)
Ruído de Passagem	83,2	24,2
Ruído Ambiente	59,0	

No Quadro 8.3 estão expostos os valores existentes nas salas de espera das estações e do ruído no exterior das mesmas de modo a perceber em qual dos locais a exposição do ruído é menor.

Quadro 8.3 – Diferença de ruído existe na sala de espera e no exterior junto das linhas férreas nas estações alvo de estudo.

Tipos de Ruído	Estações Ferroviárias (dB)		
	Campanhã	São Bento	Devesas
Ruído na Sala de Espera	63,4	67,8	66,5
Ruído Ambiente	59,5	74,9	56,5
Diferença	3,9	-7,1	10,0

Face aos dados apresentados no quadro anterior pode se constatar quem nem sempre é benéfico estar numa sala de espera, dado que, em estações como Campanhã e das Devesas, o ruído existente na sala de espera é superior quele que existe no exterior sem a circulação dos veículos ferroviários.

Em comparação com os resultados obtidos nas estações do Metro de Porto tendo em conta o ruído existente na estação aquando a circulação de veículos, os valores obtidos na estação são em média superiores em 4 dB(A) que os valores nas estações rodoviárias e em 2 dB(A) que os valores nas estações ferroviárias, motivado pelo as estações de metro serem todas subterrâneas, o que aumento o ruído produzido pelos veículos.

8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Depois de realizada esta dissertação que teve como caso de estudo as estações referidas anteriormente, poderão ser desenvolvidos alguns tópicos que poderão passar por:

- Caracterizar acusticamente outras estações ferroviárias não analisadas nesta dissertação, de modo a obter uma visão geral do panorama do ruído produzido nas estações ferroviárias em Portugal e perceber se a grandeza dos resultados obtidos é da mesma ordem ou superior ou inferior;
- Aprofundar o estudo do ruído produzido pela circulação dos comboios e dos autocarros, nomeadamente estabelecer uma ligação entre a velocidade de andamento e o ruído produzido e dado o seu efeito, tentar reduzir a velocidade de modo a diminuir a exposição das pessoas ao ruído;
- Desenvolvimento de um *software* de modelação do ruído do tráfego ferroviário semelhante ao existente em países como a Alemanha e a França;
- Perceber que intervenções acústicas possam ser feitas nas estações ferroviárias em que a sua morfologia consiste na existência de apenas de pórticos de suporte aos utentes, de modo a reduzir a exposição ao ruído dos mesmos;
- Na estação rodoviária da Casa da Música fazer o estudo de uma possível intervenção acústica na cobertura da plataforma de modo a reduzir, por absorção sonora, o ruído urbano e o ruído produzido pelos autocarros.
- Perceber o contributo do material absorvente na estação ferroviária de Espinho, uma vez que os valores de medição são ainda elevados;

- Perceber que possíveis intervenções são possíveis em São Bento de modo a tornar a transmissão de mensagem sonora audível em certos pontos, dado que, com o intenso ruído residual muitas vezes não se percebe a mensagem sonora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. D. N. Costa, *Caracterização Acústica de Estações de Metro*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2018.
- [2] A. P. O. Carvalho, *Acústica Ambiental e de Edifícios*, FEUP, ed. 8.13, 2017.
- [3] P. M. A. Silva, *Caracterização Acústica Interior da Nova Igreja da Santíssima Trindade em Fátima*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2009.
- [4] A. M. Á. Macedo, *Caracterização Acústica de Conchas Acústicas ao Ar Livre*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2015.
- [5] T.A. Everest e K. C. Pohlmann, *Master Handbook of Acoustics*, ed. 5, 2001.
- [6] Priberam. *Comboio*. <https://dicionario.priberam.org/comboio>. Acedido em 20/03/2018.
- [7] Encyclopedia Britannica. *Richard Trevithick*. <https://www.britannica.com/biography/Richard-Trevithick>. Acedido em 21/03/2018.
- [8] Encyclopedia Britannica. *British Railways*. <https://www.britannica.com/topic/British-Railways>. Acedido em 21/03/2018.
- [9] ScienceSource. <https://www.sciencesource.com/archive/George-Stephenson---Locomotion-No.-1--1825-SS2770458.html#/SearchResult&ITEMID=SS2770458> Acedido em 24/03/2018.
- [10] Autoevolution. <https://www.autoevolution.com/news/new-tgv-trains-to-enter-service-in-france-in-2022-124742.html>. Acedido em 24/03/2018.
- [11] CP, Comboios de Portugal. *Cronologia da história de caminhos de ferro em Portugal*. <https://www.cp.pt/institucional/pt/cultura-ferroviaria/historia-cp/cronologia>. Acedido em 21/03/2018.
- [12] Ensina RTP. *História dos comboios em Portugal*. <http://ensina.rtp.pt/artigo/historia-dos-comboios-em-portugal>. Acedido em 21/03/2018
- [13] IP Património. <http://www.ippatrimonio.pt/competencias/gestao-e-administracao-do-patrimonio>. Acedido em 15/12/2018.
- [14] CP, Comboios de Portugal. *Alfa Pendular*. <https://www.cp.pt/passageiros/pt/como-viajar/alfa-pendular>. Acedido em 15/12/2018.
- [15] F. S. Echazarreta, La Circulación Ferroviária, *Ruido de Trafico: Ferrocarriles*, pp. 8, EOI Escuela de Negocios, 2007/2008.
- [16] D. A. F. Gonçalves, *Modelação de Ruído em Tráfego Ferroviário – Caracterização do Material Circulante em Portugal*, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, 2014.
- [17] *Diretiva que estabelece métodos comuns de avaliação do ruído de acordo com a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho – Diretiva (UE) 2015/996*, 19 de Maio de 2015
- [18] R. Kohler, L. P. Specht e G. D. Bronzati, *Noise caused by rail transport in an urban segment: study of the case of Ijuí-RS city*, Teoria e Prática na Engenharia Civil, 19, pp. 13-23, 2012.
- [19] S. Shahidan, M. Z. Md Maarof, N. I. R. R. Hannan e N. Ali, *Existing Noise Level at Railway Stations on Malaysia*, ISCEE 2016 – MATEC Web of Conferences, 103, pp. 09012, 2017.
- [20] European Environment Agency, *Railway Noise*, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exposure-to-and-annoyance-by-2/assessment-3>. Acedido em 05/02/2018

- [21] U. Clausen, C. Doll, F. J. Franklin, G. V. Franklin, H. Heinrichmeyer, J. Kochsiek, W. Rothengatter e N. Sieber, *Reduzir a Poluição Sonora no Setor Ferroviário*, Direção Geral das Políticas Internas da União, Departamento Temático B: Políticas Estruturais e de Coesão, 2012.
- [22] *Especificação Técnica de Interoperabilidade para o subsistema “material circulante – ruído”* – Regulamento (UE) N.º 1304/2014 de 26 de Novembro de 2014.
- [23] Infopédia, *Autocarro*, <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/autocarro>. Acedido em 21/03/2018.
- [24] AutoCaresCausera, *Historia del Autobús*, <http://autocarescausera.com/2017/07/04/historiaautobus>. Acedido em 27/12/2018.
- [25] STCP, *História dos Transportes*, <https://www.stcp.pt/pt/institucional/step/historia-dos-transportes>. Acedido em 27/12/2018.
- [26] STCP, *65.ª Aniversário da Inauguração da Primeira Carreira de Autocarros da STCP*, <https://www.stcp.pt/pt/noticias/65-aniversario-da-inauguracao-da-primeira-carreira-de-autocarros-da-stcp/>. Acedido em 27/12/2018.
- [27] C. M. K. L. Yao, A. K. Ma, S. L. Cushing e V. Y. W. Lin, *Noise exposure while commuting in Toronto – a study of personal and public transportation in Toronto*, *Journal of Otolaryngology*, pp. 46-62, 2017.
- [28] F. Rodrigues, C. A. Faria, M. D. C. Magalhaes, *Assessment of Noise Levels in Terminals at Bus Stations*, Rio 2005 Inter-Noise, The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 07-10 de Agosto de 2005, Rio de Janeiro, Brasil.
- [29] Google Maps. <https://maps.google.com>. Acedido em 27/12/2018.
- [30] CP Comboios de Portugal, *Porto Campanhã*, <https://www.cp.pt/passageiros/pt/consultar-horarios/estacoes/porto-campanha>. Acedido em 27/12/2018.
- [31] CP Comboios de Portugal, *Porto São Bento*, <https://www.cp.pt/passageiros/pt/consultar-horarios/estacoes/porto-sao-bento>. Acedido em 27/12/2018.
- [32] CP Comboios de Portugal, *General Torres*, <https://www.cp.pt/passageiros/pt/consultar-horarios/estacoes/general-torres>. Acedido em 27/12/2018.
- [33] CP Comboios de Portugal, *Vila Nova de Gaia*, <https://www.cp.pt/passageiros/pt/consultar-horarios/estacoes/vila-nova-de-gaia>. Acedido em 27/12/2018.
- [34] CP Comboios de Portugal, *Espinho*, <https://www.cp.pt/passageiros/pt/consultar-horarios/estacoes/espinho>. Acedido em 27/12/2008.
- [35] REFER, EP, Condicionamento Acústico, *Estudo de Impactes Ambientais*, Estação Ferroviária de Espinho.
- [36] dB.i, *Sonómetro*, <https://www.dbi.pt/sonometro>. Acedido em 04/04/2018.
- [37] *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – R.R.A.E., Decreto-Lei n.º 110/2008 de 9 de Junho*.
- [38] *Regulamento Geral de Ruído – R.G.R., Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro de 2007*.