



Patrícia Susana Contente Pereira

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

A utilização de *smartphones* na monitorização do ruído

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais

Orientador: Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho
Arguente: Doutora Maria Cristina Frazão Pissarra Gouveia
Vogal: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira

A utilização de *smartphones* na monitorização do ruído

Copyright © Patrícia Susana Contente Pereira, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem diversas contribuições pelas quais não poderei deixar de expressar o meu sincero agradecimento.

Ao Professor Doutor Francisco Ferreira, por toda a ajuda, disponibilidade e entusiasmo demonstrado ao longo da realização deste trabalho.

À Transtejo e à REFER, pela oportunidade que me foi dada de poder realizar medições de ruído nas suas instalações.

Aos meus amigos, dentro e fora do meio académico, por terem estado presentes sempre que precisei.

Ao Bruno, por todo o carinho, paciência e muita compreensão demonstrados nos últimos anos e especialmente durante a realização desta dissertação.

À minha família, em especial aos meus pais, um enorme obrigado pelo apoio, incentivo, amizade, carinho e dedicação demonstrados em todas as fases da minha vida. Obrigado por todo o vosso esforço e sacrifício para me proporcionarem a oportunidade de vir a ter uma profissão que me realize. A vocês dedico esta dissertação.

Resumo

Habitualmente dá-se a designação de “ruído” a qualquer som desagradável ou indesejável, passível de prejudicar a saúde dos indivíduos e afetar o seu bem-estar. A sua presença no nosso quotidiano resulta principalmente de um conjunto de atividades humanas, sendo atualmente considerado um dos problemas ambientais com maior impacto na sociedade. A sua monitorização é essencial para que seja possível minimizar os seus impactos.

Este trabalho apresenta um protótipo de um sistema de monitorização participativa de ruído, com recurso a um *smartphone*, cuja finalidade é permitir a contribuição de voluntários na recolha de dados sobre ruído.

Para a realização do presente trabalho procedeu-se à pesquisa de uma aplicação móvel de medição de ruído e ao desenvolvimento de protótipos para as restantes componentes do sistema: aplicação *Web* e página em rede social. Para avaliar a capacidade da aplicação móvel foram conduzidos diversos ensaios em diferentes ambientes acústicos em meio urbano, nomeadamente com influência direta ou no interior de diversos modos de transporte. Com o intuito de avaliar a participação dos cidadãos, bem como a sua percepção quanto ao ruído ambiente, procedeu-se à realização de inquéritos junto da população.

A aplicação móvel selecionada - *NoiseTube* – revelou-se adequada para integração no sistema de monitorização, permitindo obter dados comparáveis a um sonómetro profissional para diversos ambientes acústicos.

Os inquéritos revelaram que a população entende o ruído como um problema ambiental sobre o qual é preciso atuar e está disponível para contribuir voluntariamente na realização de medições.

A avaliação de diversos ambientes acústicos exteriores revelou que os níveis sonoros deverão estar acima do valor legislado. Através dos ensaios de caracterização de ambientes acústicos interiores e tendo em consideração o limiar de risco definido pela Organização Mundial de Saúde, a circulação nos transportes públicos autocarro, metro e barco representam um maior risco para a população.

Palavras-chave: Ruído, *smartphone*, monitorização, sensoriamento móvel, participação pública

Abstract

“Noise” is the designation given to any unpleasant or undesirable sound, able to harm individual’s health and well-being. Its presence in our daily life, results mostly from a group of human activities, being considered nowadays one of the environmental problems with one of the highest impacts on society. Its monitoring is essential in order to make possible to minimize its impacts.

This work presents a participative noise monitoring system prototype using a smartphone, which purpose is to allow volunteers to contribute in data collection regarding noise.

For this work, research was performed regarding noise measure mobile applications as well as the development of a prototype for the remaining system components: web application and social network page. In order to test the mobile application ability, several tests were conducted in different acoustic environments on an urban setting, namely directly influenced or in the interior of several transportation modes. With the purpose of evaluate citizen participation, as well as their perception regarding environmental noise, surveys were carried out among population.

The selected mobile application – NoiseTube – proved itself suitable for monitoring system integration, allowing to obtain sound meter comparable data for different acoustic environments.

Surveys revealed that population understands noise as an environmental problem upon which we must act and that it is available to voluntarily contribute in measurements realization.

Evaluation of several outdoor acoustic environments revealed that sound levels are probably above legislation limit-values. Through interior acoustic environment characterization and taking into account risk threshold defined by World Health Organization, bus, subway and ferry transport circulation represents a higher risk to population.

Keywords: Noise, smartphone, monitoring, mobile sensing, public participation

Índice de Matérias

1. Introdução	1
1.1. Objetivos e âmbito	2
1.2. Organização da dissertação	2
2. Revisão de Literatura	5
2.1. O ruído.....	5
2.1.1. Conceitos de acústica.....	5
2.1.2. Fontes sonoras.....	8
2.1.3. Audibilidade	9
2.1.4. Medição do ruído	10
2.1.5. Ruído ambiente	14
2.1.6. Enquadramento legal.....	17
2.1.7. Mapeamento do ruído.....	18
2.2. O ruído e a saúde	20
2.2.1. Anatomofisiologia do sistema auditivo humano	20
2.2.2. Fisiologia do ouvido humano	23
2.2.3. Efeitos do ruído na saúde pública.....	23
2.3. Relação entre monitorização ambiental e participação pública	27
2.3.1. Vantagens e desvantagens da utilização de voluntários na monitorização ambiental.....	28
2.3.2. O papel das tecnologias de informação e comunicação na gestão ambiental.....	29
2.3.3. As tecnologias de informação e comunicação e a participação pública na monitorização ambiental.....	30
2.3.4. Abordagens de participação pública na gestão ambiental.....	32
2.4. Sensoriamento móvel	33
2.4.1. Precedentes do sensoriamento móvel.....	34
2.4.2. Conceito de sensoriamento móvel.....	35
2.4.3. Escalas de sensoriamento móvel	37
2.4.4. Classes de sensoriamento móvel	38
2.4.5. Modelo de sistema de sensoriamento móvel.....	39
2.4.6. Desafios inerentes ao sensoriamento móvel	41
2.5. Participação pública.....	44
3. Metodologia.....	47
3.1. Sistema de monitorização do ruído	47
3.1.1. Análise e seleção de aplicação móvel para medição de níveis de ruído	47
3.1.2. Página em rede social associada ao sistema de monitorização	48
3.1.3. Aplicação Web para visualização de dados.....	48
3.2. Utilização do sistema de monitorização.....	48
3.2.1. Comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos	49
3.2.2. Caracterização de diferentes ambientes de tráfego interiores.....	52
3.2.3. Avaliação de diferentes estratégias de medição para mapeamento de ruído	55
3.2.4. Avaliação da participação dos cidadãos no sistema de monitorização	56
4. Sistema participativo de monitorização do ruído	59

4.1.	Enquadramento	59
4.2.	Análise e seleção de aplicação móvel para medição de níveis de ruído	60
4.2.1.	Decibelímetro (Sound Meter) – Versão 1.5.....	60
4.2.2.	Sound Meter – Versão 2.4.....	61
4.2.3.	Android Sound Meter – Versão 1.21.....	62
4.2.4.	DeciBEL – Versão 1.3.2	63
4.2.5.	WideNoise Plus – Versão 3.5.4	64
4.2.6.	Noise Meter – Versão 2.2	65
4.2.7.	NoiseWatch – Versão 2.0	66
4.2.8.	NoiseDroid – Versão 1.2.....	67
4.2.9.	NoiseTube Mobile – Versão 1.2.4.....	68
4.3.	Aplicação móvel – <i>NoiseTube Mobile</i>	70
4.3.1.	Medição do nível sonoro.....	70
4.3.2.	Georreferenciação de medições.....	73
4.3.3.	Armazenamento de dados.....	74
4.3.4.	Condições de correta utilização da aplicação.....	75
4.4.	Página em rede social e aplicação <i>Web</i>	76
4.4.1.	Página em rede social associada ao sistema de monitorização	76
4.4.2.	Aplicação <i>Web</i> para visualização de dados.....	76
4.5.	Incentivo à participação no sistema de monitorização participativo.....	80
5.	Utilização do sistema de monitorização	83
5.1.	Comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos.....	83
5.1.1.	Ruído ambiente	83
5.1.2.	Ruído gerado por tráfego.....	87
5.2.	Caracterização de diferentes ambientes acústicos de tráfego interiores.....	91
5.2.1.	Tráfego rodoviário.....	91
5.2.2.	Tráfego ferroviário	94
5.2.3.	Tráfego fluvial	95
5.3.	Avaliação de diferentes estratégias de medição para mapeamento de ruído	95
5.3.1.	Medições estáticas	96
5.3.2.	Medições em movimento	99
6.	Avaliação da participação dos cidadãos no sistema de monitorização	101
6.1.	Considerações gerais e caracterização	101
6.2.	Perceção do ruído como problema ambiental	102
6.3.	Importância da participação pública	104
6.4.	Participação pública na monitorização do ruído	106
6.5.	Avaliação da independência das variáveis (Teste Qui-Quadrado)	107
6.6.	Discussão dos resultados.....	108
7.	Conclusões, limitações e desenvolvimentos futuros	111
7.1.	Síntese conclusiva.....	111
7.2.	Limitações e desenvolvimentos futuros	113
8.	Referências bibliográficas	115

Anexos	123
Anexo 1 – Inquérito.....	125
Anexo 2 – Informação de caracterização dos ensaios de ruído	128
Anexo 3 - Comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos.....	130
Anexo 4 – Avaliação de diferentes estratégias de medição para mapeamento de ruído.....	142

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Impactes do ruído na saúde (White Noise Direct, 2013).....	1
Figura 2.1 - Representação de uma onda sonora. (a) Compressões e rarefações geradas no ar pela onda sonora; (b) representação gráfica das variações de pressão, acima e abaixo da pressão atmosférica (Adaptado de WHO, 1995).....	5
Figura 2.2 - Propagação sonora de uma fonte pontual (IA, 2004).....	8
Figura 2.3 - Propagação sonora de uma fonte linear (IA, 2004).....	9
Figura 2.4 - Curvas de audibilidade equivalente (Adaptado de Liu e Roberts, 1999).....	10
Figura 2.5 - Curvas de ponderação (Adaptado de Bies e Hansen, 2009)	11
Figura 2.6 - Design de um sonómetro convencional (Adaptado de Stevens, 2012)	14
Figura 2.7 - Nível sonoro dos diferentes componentes do comboio, a diferentes velocidades (Adaptado de Brons <i>et al.</i> , 2003).....	15
Figura 2.8 - Exemplo de representação gráfica de um mapa de ruído (EPA, 2011)	19
Figura 2.9 - Anatomia do ouvido externo (Adaptado de Prof2000, 2013)	21
Figura 2.10 - Anatomia do ouvido médio (Adaptado de Healthwise Staff, 2012)	22
Figura 2.11 - Anatomia do ouvido interno (Adaptado de Hear for Life, 2013)	22
Figura 2.12 - Pilares da e-Participação (Adaptado de Salamat <i>et al.</i> , 2011).....	31
Figura 2.13 - Arquitectura de uma rede de sensores wireless (Adaptado de COMMON-Sense Net, 2013)	35
Figura 2.14 - Esquema de um sistema de sensoriamento móvel (Adaptado de Christin <i>et al.</i> , 2011) .	39
Figura 2.15 - Escada de participação de Arnstein (Adaptado de Arnstein, 1969)	45
Figura 3.1 – Metodologia aplicada	47
Figura 3.2 - Sonómetro Brüel & Kjær 2260 Investigator (à esquerda) e smartphone HTC Explorer (à direita) (Google Images, 2013).....	49
Figura 3.3 - Esquema de avaliação da comparação entre um sonómetro profissional e a aplicação móvel.....	50
Figura 3.4 - Esquema de avaliação de exposição pessoal a ruído interior, proveniente de diferentes tipos de tráfego.....	53
Figura 3.5 – Esquema de avaliação da vertente de mapeamento	55
Figura 4.1 - Arquitectura do sistema de monitorização de ruído ambiente	60
Figura 4.2 - Aplicação Decibelímetro - <i>Sound Meter</i> (Boy, 2013)	61
Figura 4.3 - Aplicação <i>Sound Meter</i> (Trajkovski, 2013).....	62
Figura 4.4 - Aplicação <i>Android Sound Meter</i> (StackArena, 2013a).....	63
Figura 4.5 - Aplicação <i>deciBEL</i> (BSB.BZ, 2013)	64
Figura 4.6 - Aplicação <i>WideNoise Plus</i> (L3S, 2013a).....	65
Figura 4.7 - Aplicação <i>Noise Meter</i> (Jinasys, 2013)	66
Figura 4.8 - Aplicação <i>NoiseWatch</i> (EEA, 2013c)	67
Figura 4.9 - Aplicação <i>NoiseDroid</i> (52°North, 2013b)	68
Figura 4.10 - Arquitectura do sistema <i>NoiseTube</i> (Stevens, 2012).....	70
Figura 4.11 - Aplicação móvel <i>NoiseTube Mobile</i> durante uma medição (plataforma <i>Android</i>) (Adaptado de Stevens, 2012).....	71
Figura 4.12 - Georreferenciação na aplicação <i>NoiseTube</i> (plataforma <i>Android</i>) (Adaptado de Stevens, 2012)	74

Figura 4.13 - Ecrã de escolha de preferências na aplicação <i>NoiseTube</i> (plataforma <i>Android</i>) (Stevens, 2012)	75
Figura 4.14 - Visualização do cabeçalho da página fictícia na rede social <i>Facebook</i> , associada ao sistema de monitorização.....	76
Figura 4.15 - Visualização da aplicação <i>Web</i> inserida na página <i>online</i> do sistema de monitorização.....	77
Figura 4.16 - Tabela no <i>Google Fusion Tables</i> , contendo informação associada a medições de níveis sonoros.....	79
Figura 4.17 - Legenda estabelecida para o mapeamento de medições.....	79
Figura 4.18 - Visualização do ensaio experimental em modo mapa	80
Figura 4.19 - Visualização do ensaio experimental em modo satélite.....	80
Figura 5.1 - Valores $L_{Aeq,1min}$ obtidos durante o segundo ensaio relativo a ruído ambiente	84
Figura 5.2 - Excerto do Mapa de Ruído Global da cidade de Lisboa, relativo ao período diurno-entardecer-noturno (Adaptado de CML, 2013).....	85
Figura 5.3 - Representação gráfica da regressão linear (sem intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído ambiente, quanto ao ensaio 2	86
Figura 5.4 - Representação gráfica da regressão linear (com intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído ambiente, quanto ao ensaio 2	86
Figura 5.5 - Propagação do erro em relação ao período de medição	87
Figura 5.6 - Valores $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o segundo ensaio referente a ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo	88
Figura 5.7 - Representação gráfica da regressão linear (sem intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo (metro), para o ensaio 2	89
Figura 5.8 - Representação gráfica da regressão linear (com intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo (metro), para o ensaio 2	89
Figura 5.9 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 20 x 20 metros e baseado em medições de um minuto	97
Figura 5.10 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 20 x 20 metros e baseado em medições de cinco minutos	97
Figura 5.11 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 50 x 50 metros e baseado em medições de um minuto	98
Figura 5.12 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 50 x 50 metros e baseado em medições de cinco minutos	98
Figura 5.13 - Excerto do Mapa de Ruído Global da cidade de Lisboa, relativo ao período diurno-entardecer-noturno, que engloba a Praça do Rossio (Adaptado de CML, 2013).....	99
Figura 5.14 - Mapa de ruído de uma área urbana resultante de medições em movimento	100
Figura 6.1 - Perceção da gravidade do ruído ambiente como problema ambiental	102
Figura 6.2 - Perceção da influência do ruído ambiente na saúde	103
Figura 6.3 - Avaliação do nível de exposição ao ruído, em diferentes ambientes.....	103
Figura 6.4 - Avaliação da importância da participação pública na resolução de problemas ambientais	104
Figura 6.5 - Avaliação da vantagem da participação dos cidadãos na monitorização de parâmetros ambientais.....	105
Figura 6.6 - Vantagens da participação dos cidadãos na monitorização de parâmetros ambientais	106
Figura 6.7 - Avaliação da motivação exercida pela existência de um incentivo para a participação dos cidadãos.....	107

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Comparação entre métodos de mapeamento de ruído (Ripoll, 2005).....	20
Tabela 2.2 - Proporção da população que vive em agregados familiares e que declara ser afetada por ruído proveniente dos vizinhos ou da rua (Eurostat, 2013)	24
Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens da inclusão de voluntários na monitorização ambiental (Gouveia <i>et al.</i> , 2004).....	29
Tabela 2.4 - Categorias de abordagens de participação pública na gestão ambiental (Adaptado de Newman <i>et al.</i> , 2011)	33
Tabela 2.5 - Caracterização das diferentes escalas de sensoriamento móvel (Lane <i>et al.</i> , 2010).....	38
Tabela 2.6 - Diferenças entre sensoriamento oportunístico e sensoriamento participativo (Adaptado de Stevens, 2012)	39
Tabela 2.7 - Vantagens e desvantagens da participação pública (Adaptado de Luyet <i>et al.</i> , 2012)	46
Tabela 4.1 – Resumo da pesquisa de aplicações móveis.....	69
Tabela 4.2 - Marcas e modelos de smartphone para os quais a aplicação NoiseTube Mobile se encontra calibrada (D'Hondt, 2013a).....	72
Tabela 5.1 - Resultados globais do segundo ensaio referente a ruído ambiente.....	84
Tabela 5.2 - Resultados globais do segundo ensaio referente a ruído ferroviário subterrâneo.....	87
Tabela 5.3 - Resumo dos ensaios relativos à secção de comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos	91
Tabela 5.4 - Resultados globais dos ensaios 1 e 2 relativos à avaliação de transporte individual, no âmbito da exposição a ruído no interior de veículos rodoviários	92
Tabela 5.5 - Resultados globais do ensaio 3 relativo à avaliação de transporte individual, quanto à exposição a ruído no interior de veículos rodoviários.....	92
Tabela 5.6 - Resultados globais dos ensaios relativos às avaliações de transporte coletivo, no âmbito da exposição a ruído no interior de veículos rodoviários.....	93
Tabela 5.7 - Resultados globais dos ensaios relativos às avaliações de exposição a ruído no interior de veículos ferroviários.....	94
Tabela 5.8 - Resultados globais dos ensaios relativos às avaliações de exposição a ruído no interior de uma embarcação marítima	95
Tabela 6.1 - Avaliação da independência entre variáveis	108

Lista de Siglas e Acrónimos

ANSI - *American National Standards Institute*

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CML – Câmara Municipal de Lisboa

CP – Comboios de Portugal

CPU - *Central Processing Unit*

dB – decibel

dBA – decibel com filtro de ponderação A

dBb – decibel com filtro de ponderação B

dBc – decibel com filtro de ponderação C

DRA - Diretiva do Ruído Ambiente

EC - *European Commission*

EEA - *European Environment Agency*

EPA - *Environmental Protection Agency*

FCT/UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

GPRS - *General Packet Radio Services*

GPS - *Global Position System*

GSM - *Global System for Mobile Communications*

HCN - *Health Council of the Netherlands*

HTML - *HyperText Markup Language*

IAMSE - *International Association of Medical Science Educators*

IAP2 - International Association for Public Participation

IEC - *Internacional Electrotechnical Commission*

ITU - *International Telecommunication Union*

L_{Aeq} – Indicador de nível sonoro contínuo equivalente ponderado A

L_{den} – Indicador de ruído para os períodos “diurno”, “entardecer” e “noturno”

R^2 – Coeficiente de determinação

RMS - *Root Mean Square*

SI - Sistema Internacional de Unidades

SIG - Sistema de Informação Geográfica

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TV – Televisão

TXT - *Text Document File*

UE-27 - União Europeia (27 Países)

UMTS - *Universal Mobile Telecommunication System*

VGI - *Volunteered Geographic Information*

XML - *Extensible Markup Language*

XSL - *Visual Studio XML Schema Layout File*

XSD - *XML Schema Designer*

WHO – *World Health Organization*

WSN - *Wireless sensor networks*

WWW - *World-Wide Web*

1. Introdução

Os progressos tecnológicos e científicos originaram mudanças drásticas na sociedade, responsáveis por melhorias significativas na qualidade de vida da população. Porém, em muitos casos, uma mobilidade acrescida tem conduzido a um agravamento da poluição sonora.

O ruído é considerado um dos principais problemas ambientais com mais impacto na população, particularmente em áreas urbanas. Tal como outras formas de poluição, manifesta efeitos negativos sobre diversos aspetos da qualidade de vida dos cidadãos (Figura 1.1). Desde a década de 70 que o ruído é considerado uma fonte de incómodo, principalmente em cidades, constituindo também um sério perigo para a saúde pública, causando efeitos adversos a nível social e económico.



Figura 1.1 - Impactes do ruído na saúde (White Noise Direct, 2013)

A população europeia está cada vez mais consciente dos impactes negativos que a poluição sonora tem na sua saúde e bem-estar. Um inquérito do Eurobarómetro, publicado em 2010, revela que 44% dos cidadãos europeus acreditam que o ruído afeta consideravelmente a sua saúde. A nível nacional,

31% dos portugueses afirmaram que o ruído afeta a sua saúde de forma significativa, 42% revelaram sofrer alguns efeitos adversos e 27% considera não serem de todo afetados (EC, 2010).

Tal como outros problemas ambientais, é de extrema importância a sua monitorização rigorosa e contínua. Desta forma é possível caracterizar o ambiente acústico, identificar situações de risco e desenvolver planos de redução/controlo de ruído.

Não obstante a existência de uma boa base legislativa quanto à avaliação e gestão do ruído ambiente, a sua implementação a nível nacional ainda não ocorreu na totalidade. Ou seja, constata-se um incumprimento a nível da elaboração de mapas de ruído e planos de redução de ruído, em diversos municípios portugueses (Quercus, 2012).

1.1. Objetivos e âmbito

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar a utilização de um *smartphone* na monitorização do ruído ambiente. Pretende-se avaliar a potencialidade de implementar um sistema de monitorização com participação ativa dos cidadãos, recolhendo-se em grande escala dados sobre níveis de ruído. Este sistema contém assim duas funcionalidades: dotar as entidades oficiais e de investigação de maior informação (auxiliar na gestão ambiental) e sensibilizar a população para os efeitos adversos da exposição a ruído excessivo.

Para atingir os objetivos, posteriormente à realização da revisão bibliográfica sobre os conceitos mais relevantes relacionados com a temática, procedeu-se à pesquisa sobre aplicações móveis existentes para medição de ruído. Após a seleção de uma aplicação móvel, foram realizadas diversas medições com a mesma, para efeitos de intercomparação com um sonómetro profissional em diferentes ambientes acústicos. Foi ainda desenvolvida a parte interativa do sistema de monitorização, que consiste numa aplicação *Web* para partilha e visualização de dados e numa página inserida numa rede social.

1.2. Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em oito capítulos: no primeiro capítulo “Introdução” é feito o enquadramento ao trabalho desenvolvido, sendo definidos os objetivos e o âmbito da dissertação, incluindo-se a estrutura e organização do presente documento.

No segundo capítulo “Revisão de literatura” são abordados diversos conteúdos relacionados com o tema central da dissertação, nomeadamente: ruído e efeitos na saúde, monitorização, participação pública e sensoriamento móvel.

No terceiro capítulo “Metodologia” são enunciadas as tarefas realizadas para o desenvolvimento do sistema de monitorização, assim como os métodos utilizados na realização de medições de ruído e

inquéritos à população. Segue-se um capítulo dedicado ao “Sistema participativo de monitorização de ruído” onde são apresentados os diversos componentes que figuram no sistema proposto.

No quinto capítulo “Utilização do sistema de monitorização” são apresentados os resultados obtidos através da utilização da aplicação móvel de medição de ruído.

No sexto capítulo “Avaliação da participação dos cidadãos no sistema de monitorização” são discutidos os resultados obtidos com a realização de inquéritos. É igualmente apresentada a análise estatística dos resultados e consequentes conclusões deles retiradas.

No sétimo capítulo “Conclusões, limitações e desenvolvimentos futuros” são apresentados os principais resultados, as limitações inerentes à realização do trabalho e e recomendações para o desenvolvimento futuro da investigação.

2. Revisão de Literatura

2.1. O ruído

2.1.1. Conceitos de acústica

O ruído é definido como qualquer som desagradável ou indesejável para o seu recetor. Em termos acústicos, som e ruído dizem respeito ao mesmo fenómeno vibratório que é propagado através de um meio e detetável pelo ouvido. A sua distinção tem um carácter parcialmente subjetivo, estando dependente da percepção do indivíduo. Não obstante, qualquer som capaz de induzir danos psicológicos ou fisiológicos é classificado como ruído (WHO, 1995).

O **som** pode ser definido como um distúrbio que se propaga sob a forma de uma onda longitudinal, mediante um meio elástico que pode ser constituído por gás, líquido ou sólido. A velocidade de propagação está dependente das características do meio (Wang et al., 2005). Este distúrbio é o resultado de um movimento vibratório gerado por uma superfície em vibração, ou pelo fluxo turbulento de um fluido. O movimento produz pequenas alterações de pressão no meio circundante que provocam o estímulo do sistema auditivo, resultando na percepção do som pelo ouvido. Um som classifica-se como audível quando se encontra no intervalo de frequência audível normal, compreendido entre 20 Hz e 20 kHz (Kinsler et al., 2000).

A propagação das ondas sonoras ocorre devido à existência de um campo sonoro que se manifesta através de flutuações de pressão de pequena amplitude. A partir de uma fonte, ciclos de pequenas compressões e rarefações propagam-se na forma de uma onda sonora (Figura 2.1). Dada a velocidade das partículas associadas ao movimento ser paralela à direção de propagação da onda, ela é classificada como uma onda longitudinal (Bies e Hansen, 2009).



Figura 2.1 - Representação de uma onda sonora. (a) Compressões e rarefações geradas no ar pela onda sonora; (b) representação gráfica das variações de pressão, acima e abaixo da pressão atmosférica (Adaptado de WHO, 1995)

Uma **onda sonora** é constituída por um tom puro, ou seja, é uma onda sinusoidal composta por uma única frequência e pode ser caracterizada por diversas grandezas físicas, nomeadamente amplitude, comprimento de onda, frequência, período e velocidade de propagação (WHO, 1995).

A **amplitude** das alterações de pressão corresponde à diferença entre os valores máximo e mínimo, em torno da pressão atmosférica. Esta flutuação de pressão é designada por pressão sonora e expressa-se em Pascal (Pa). A amplitude das flutuações de pressão pode ser descrita através da pressão máxima de amplitude (p_M) ou da raiz-quadrada-média (RMS) de amplitude (p_{rms}) (WHO, 1995).

O número de ciclos de variação de pressão no meio por unidade de tempo (segundos) corresponde à **frequência** (f) de uma onda sonora e é expressa em Hertz (Hz). Na realidade, a maioria dos sons com que nos deparamos não se tratam de tons puros, mas sim de misturas de tons, ou seja, são compostos por um conjunto de bandas de frequência estreitas. Estas bandas representam o espectro de um determinado som. Em acústica, são utilizados intervalos definidos de bandas de frequência na caracterização do som. São principalmente considerados os intervalos de largura de banda de uma oitava e um terço de oitava (Bies e Hansen, 2009).

O tempo que o ciclo de uma onda demora a percorrer um determinado ponto denomina-se **período** (T). Esta grandeza é expressa em segundos e varia inversamente com a frequência (WHO, 1995).

A distância percorrida pela onda sonora durante um ciclo completo é designada por **comprimento de onda** (λ) e é expressa em metros (m).

Por último, a **velocidade de propagação** de uma onda sonora (c) depende da rigidez e da densidade do meio, sendo habitualmente independente da frequência do distúrbio. É expressa nas unidades de velocidade do Sistema Internacional ($m.s^{-1}$). No caso de um gás, como o ar, variações de pressão estão associadas a variações na densidade e temperatura do fluido, razão pela qual a velocidade de propagação de uma sonora está ainda dependente da temperatura do gás no qual é transmitida (Bies e Hansen, 2009).

Propagação de ondas sonoras

A propagação de uma onda sonora embora constitua um fenómeno complexo, pode ser descrita através das propriedades de propagação de ondas planas, esféricas e cilíndricas (Saenz e Stephens, 1986).

As **ondas planas** caracterizam-se pelo facto de a propagação do distúrbio, para longe da fonte, ocorrer numa única direção. Deste modo, a amplitude do distúrbio permanece constante ao longo da direção de propagação (Saenz e Stephens, 1986).

Nas **ondas esféricas** a propagação ocorre de forma radial, para longe da fonte e a amplitude do distúrbio varia inversamente com o aumento da distância (Saenz e Stephens, 1986).

Nas **ondas cilíndricas** ocorre uma diminuição linear da amplitude, com o aumento da distância (Saenz e Stephens, 1986).

Descritores do som

A gama de pressões sonoras que estimulam uma resposta no ouvido é muito vasta, razão pela qual se torna pouco prático expressar quantidades acústicas em termos das unidades SI de Pressão (Pa). Por outro lado, a resposta do ouvido não é linear mas sim aproximadamente logarítmica. Assim, a utilização de uma escala cuja grandeza é o logaritmo proporciona um modo mais conveniente de comparar pressões sonoras de diferentes sons.

Pelas razões apresentadas, as pressões sonoras são expressas em termos do seu nível, cuja unidade é o **Bel (B)**. Porém, dado tratar-se de uma unidade extensa e para tornar mais conveniente a sua utilização, ela é subdividida em 10 subunidades denominadas **decibel (dB)**. Esta subunidade logarítmica assume um valor acima ou abaixo do nível de referência zero, que corresponde à pressão sonora de referência (20 μ Pa) (Davis e Cornwell, 1998).

Assim, o **nível sonoro** (L_p) pode ser determinado através da equação (1):

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_{ref}^2} \text{ (dB)} \quad (1)$$

Onde, p corresponde à pressão sonora instantânea e p_{ref} é a pressão sonora de referência (Bies e Hansen, 2009).

Em resultado da propagação de ondas sonoras há transmissão de energia. A quantidade de energia radiada por uma fonte é designada por **potência sonora** (W) e tem como unidade o Watt (W) (Vér e Beranek, 2006).

O fluxo de energia que atravessa o meio, ou seja, a potência sonora emitida por unidade de área a uma distância r da fonte, designa-se por **intensidade sonora** (I) e é obtida através da equação (2):

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

Onde, I corresponde à intensidade sonora (W/m^2), W à potência sonora (W) e r à distância da fonte (m) (Liu e Roberts, 1999).

A potência e a intensidade sonoras podem ser expressas em termos do **nível de potência sonora** (equação 3) e **nível de intensidade sonora** (equação 4), respetivamente.

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (3)$$

Onde, W corresponde à potência sonora instantânea da fonte (W) e W_0 corresponde à potência sonora de referência ($10^{-12} W$) (Vér e Beranek, 2006).

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ (dB)} \quad (4)$$

Onde, I corresponde à intensidade sonora instantânea da fonte (W/m^2) e I_0 refere-se à intensidade sonora de referência ($10^{-12} W/m^2$) (Vér e Beranek, 2006).

2.1.2. Fontes sonoras

Uma fonte sonora pode ser definida como qualquer objeto que transmita vibrações para o meio circundante. Considerando uma classificação simples, as fontes podem ser categorizadas como pontuais ou lineares (Bies e Hansen, 2009).

As **fontes pontuais** caracterizam-se por emitirem som de forma uniforme em todas as direções (Figura 2.2). Outra propriedade deste tipo de fontes é a sua dimensão reduzida, em comparação com o comprimento de onda do som radiado (Bies e Hansen, 2009).

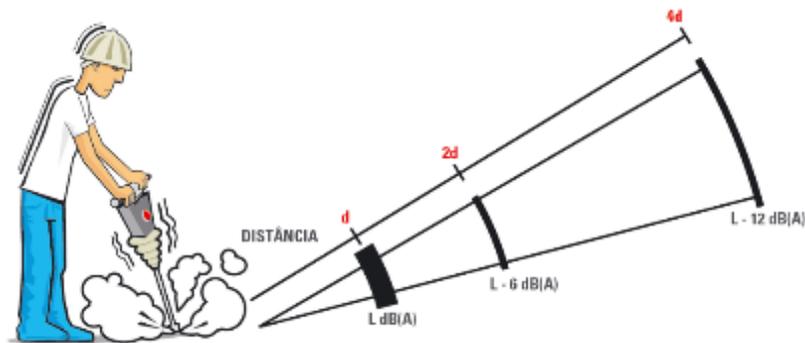


Figura 2.2 - Propagação sonora de uma fonte pontual (IA, 2004)

As **fontes lineares** são constituídas por uma série de fontes pontuais, dispostas ao longo de um segmento de reta cuja distância de separação entre elas é menor que o comprimento de onda do som radiado. Neste tipo de fontes o som é propagado de forma cilíndrica (Figura 2.3) (Bies e Hansen, 2009).

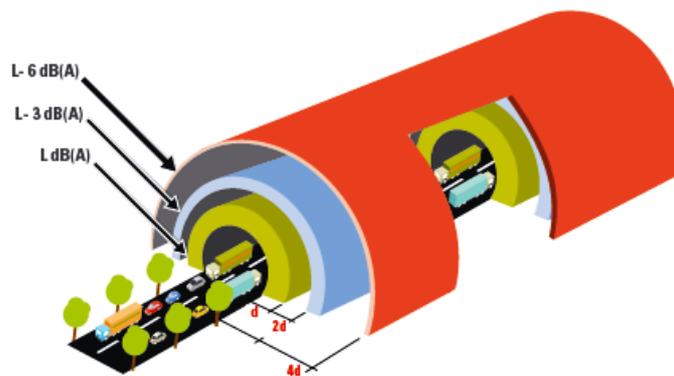


Figura 2.3 - Propagação sonora de uma fonte linear (IA, 2004)

2.1.3. Audibilidade

A resposta do ouvido humano ao som é subjetiva e varia consoante as características do som, como nível sonoro e intervalo de frequências. Quanto à frequência, o ouvido possui maior sensibilidade no intervalo entre 500 e 4000 Hz, que coincide com o alcance da comunicação humana. Esta sensibilidade é maior nas altas do que nas baixas frequências (Liu e Roberts, 1999).

Para avaliar a sensibilidade ao som utiliza-se a grandeza **audibilidade**, que depende de determinadas características acústicas do som, como intensidade sonora, pressão sonora e frequência. Esta magnitude possui como unidade de medida o **fone** e o nível de audibilidade de um som é numericamente igual ao nível sonoro, em dB, na frequência de 1000 Hz (WHO, 1995).

Do estudo da audibilidade de sons resultaram as **curvas de audibilidade equivalente** (Figura 2.4), as quais foram determinadas a partir de experiências psico-acústicas. Cada curva representa assim a variação da sensibilidade do ouvido quanto à frequência e nível sonoro (WHO, 1995).

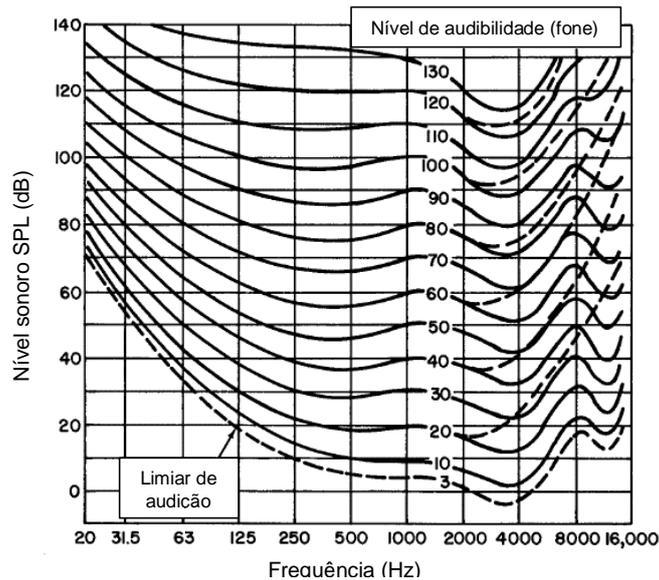


Figura 2.4 - Curvas de audibilidade equivalente (Adaptado de Liu e Roberts, 1999)

2.1.4. Medição do ruído

As medições de ruído podem ser realizadas tendo em conta diversas finalidades sendo as mais frequentes (Liu e Roberts, 1999):

- Compreender os mecanismos de geração de ruído com o objetivo de elaborar estratégias para o controlar;
- Classificar a localização quanto aos seus níveis de ruído, por forma a representar os seus potenciais efeitos psicológicos e fisiológicos no ser humano;
- Classificar fontes sonoras no que respeita à sua potência sonora como modo de estimar os níveis sonoros que estas podem gerar.

Filtros de ponderação

Para que os instrumentos de mensuração de som possam simular a diferente sensibilidade do ouvido ao intervalo de frequências e níveis sonoros, é necessário que sejam incorporadas características de ponderação. Deste modo foram desenvolvidos filtros de ponderação que modificam a resposta de frequência do instrumento para que a leitura apresentada simule a sensibilidade do ouvido humano. A contribuição das diferentes frequências, para o nível sonoro global, reflete assim a audibilidade subjetiva do som (WHO, 1995).

Existem três filtros de ponderação, A, B e C, que representam uma ordem decrescente de filtragem das baixas frequências (Figura 2.5) (Davis e Cornwell, 1998). A primeira traduz a resposta do ouvido humano a níveis sonoros baixos, perto dos 40 dB. A segunda e a terceira traduzem a resposta do ouvido a níveis sonoros entre 55 - 85 dB e acima de 85 dB, respetivamente (Bies e Hansen, 2009).

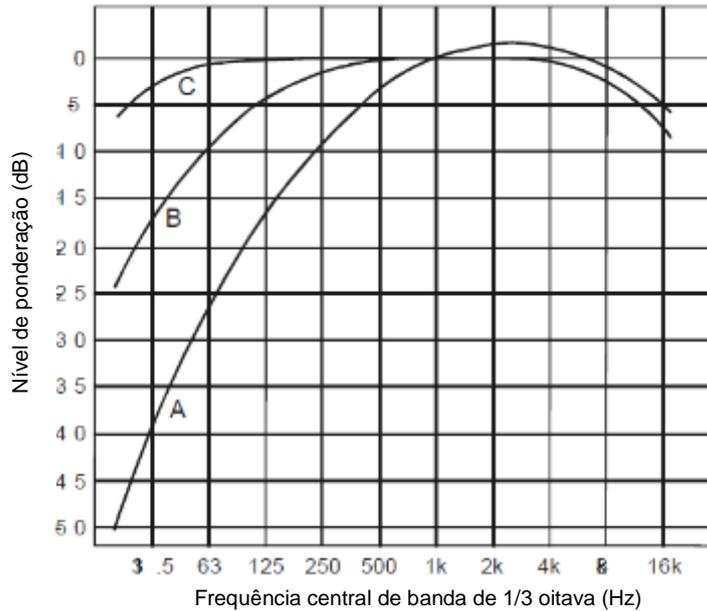


Figura 2.5 - Curvas de ponderação (Adaptado de Bies e Hansen, 2009)

O filtro B caiu em desuso, sendo empregados, atualmente, o filtro C para a caracterização de ruído aéreo e o filtro A para a caracterização de ruído ambiente. Este último é o mais utilizado dado o ruído ambiente ser composto tipicamente por sons de baixo nível sonoro. Quando são aplicados filtros de ponderação, os níveis sonoros medidos são expressos em unidades dBA, dBB ou dBC, consoante o filtro utilizado (WHO, 1995).

Factores que afetam as medições de ruído

Para que as medições de ruído resultem em dados de qualidade é necessário eliminar possíveis fontes de erro, as quais são enunciadas abaixo (Bies e Hansen, 2009):

- **Manuseio incorreto do instrumento de medição** - o instrumento (e.g. sonómetro) deve estar afastado de campos magnéticos e de vibrações, para que o microfone não seja afetado resultando numa leitura incorreta. Por esta razão deve ser dada atenção às instruções de utilização do fabricante;
- **Ruído de fundo** - é necessário verificar se este tipo de ruído poderá afetar as medições do nível sonoro em estudo. Assim, se possível, a fonte em estudo deverá ser desligada para que se proceda à medição do nível do ruído de fundo. Caso se verifique uma diferença igual ou inferior a 10 dB entre o ruído de fundo e o nível sonoro total, quando a fonte em estudo se encontra ligada, será necessário efetuar uma correção nas leituras obtidas;
- **Vento** - afeta as leituras de ruído, podendo resultar em níveis sonoros falseados. Assim é necessária a colocação de um atenuador de vento no microfone do instrumento, que é constituído por esponja acústica;

- **Temperatura** - existem componentes dos instrumentos de medição de ruído que são sensíveis à temperatura, como baterias e microfones. O componente mais afetado são as baterias, uma vez que um aumento de temperatura pode conduzir à redução do seu tempo de vida;
- **Humidade** - o microfone do instrumento é sensível à humidade, podendo originar auto-ruído no instrumento de medição, pelo que se torna essencial protegê-lo;
- **Reflexões de superfícies próximas** – a perturbação de objetos próximos da fonte sonora em estudo pode afetar a radiação de som a partir da mesma.

Sistemas de avaliação de ruído

Para avaliar a exposição de um indivíduo ou população ao ruído, é necessário caracterizá-lo tendo em conta a sua frequência e variação temporal. Considerando estes requisitos, são utilizados parâmetros estatísticos para descrever sons variáveis no tempo, como é o caso do ruído em contexto urbano (Davis e Cornwell, 1998).

De entre os parâmetros existentes, são empregados principalmente o **nível sonoro contínuo equivalente (L_{eq})** e o **nível sonoro estatístico (L_N)**, ambos expressos em decibéis (dB) (Davis e Cornwell, 1998). O primeiro é definido como o nível sonoro constante, que durante um determinado intervalo de tempo, possui a mesma quantidade de energia que o nível oscilante (Liu e Roberts, 1999). Os níveis sonoros estatísticos (L_N) dizem respeito ao nível sonoro que é excedido em determinada percentagem do tempo de medição, à qual corresponde o sufixo *N*. Estes parâmetros correspondem desta forma a níveis de excedência, sendo empregados habitualmente o L_{10} e o L_{90} , que correspondem ao nível sonoro excedido em 10% do tempo e ao nível sonoro excedido em 90% do tempo, respetivamente. A justificação para a utilização destas percentagens prende-se com o facto de o L_{10} representar o nível sonoro emitido mais elevado e o L_{90} representar, por seu lado, o nível sonoro de fundo (Bies e Hansen, 2009).

Instrumentos de medição

Existem diversos instrumentos que podem ser utilizados para medições de ruído, isto é, para a mensuração de propriedades físicas do som. O instrumento escolhido irá depender do objetivo da medição, das características do ruído em causa e do tipo de análise que é necessário efetuar. Os principais instrumentos existentes são o sonómetro e o dosímetro, sendo o primeiro o mais utilizado. O dosímetro tem como finalidade medir a exposição pessoal ao ruído, sendo essencialmente utilizado na avaliação do risco de danos na audição, em resultado da exposição de indivíduos a ruído de elevada intensidade (Bies e Hansen, 2009).

O **sonómetro** tem como finalidade medir o nível sonoro e os mais atuais possuem um alcance superior a 100 dB (Bies e Hansen, 2009). Os sonómetros disponíveis no mercado variam em termos da sua complexidade, ou seja, quanto ao tipo de descritores de som que permitem obter. Os mais simples possuem somente o filtro de ponderação A e exibem leituras de um único nível sonoro, enquanto os mais sofisticados podem ser calibrados, possuem mais do que um filtro de ponderação, possibilitam

medições em várias bandas de frequência e permitem obter diversos descritores de som e quantidades estatísticas (Bies e Hansen, 2009).

Estes instrumentos e a sua operação são objeto de diversas normas, sendo as mais importantes a ANSI S1.4, emitida pela *American National Standards Institute* (ANSI), e a IEC 61672, emitida pela *Internacional Electrotechnical Commission* (IEC). Estas normas dividem os sonómetros em categorias de acordo com a sua precisão. A norma ANSI divide-os em quatro categorias: Tipo 0, 1, 2 e 3, cuja numeração corresponde a uma precisão de ± 0.4 , ± 0.7 , ± 1.0 e ± 1.5 dB, respetivamente. Por seu lado a norma IEC faz uma divisão baseada somente em duas categorias: Classe 1 e 2, que correspondem aproximadamente aos Tipos 1 e 2 da norma ANSI, respetivamente.

Deste modo, em termos gerais, estes instrumentos podem ser divididos em quatro categorias (Stevens, 2012):

- **Tipo 0** – instrumentos cuja finalidade é servirem de referência para calibração de outros sonómetros em laboratório;
- **Tipo/Classe 1** – instrumentos de alta precisão;
- **Tipo/Classe 2** – instrumentos de utilização geral;
- **Tipo 3** – instrumentos com a finalidade única de serem utilizados em estudos com requisitos de precisão mais baixos.

A categoria tipicamente recomendada pelas entidades oficiais é o Tipo/Classe 2 (Stevens, 2012).

Funcionamento de um sonómetro

Um sonómetro convencional possui um *design* típico (Figura 2.6). O **microfone** deteta as ondas sonoras e converte-as num sinal áudio analógico, que representa uma pressão sonora. Este sinal é posteriormente enviado para o **pré-amplificador** e depois para o **filtro de ponderação** de frequência, onde o sinal é alterado de acordo com o filtro de ponderação em utilização. Na etapa seguinte o sinal, que representa uma pressão sonora ponderada de acordo com a frequência, é enviado para o **detetor de RMS** (*Root Mean Square*), cuja finalidade é determinar o valor de RMS do sinal. Daqui resulta a pressão sonora real ponderada de acordo com a frequência, que é em seguida enviada para um componente onde ocorre a computação dos valores de nível sonoro para unidades decibel. Por fim, é apresentado o **nível sonoro** medido (Stevens, 2012).

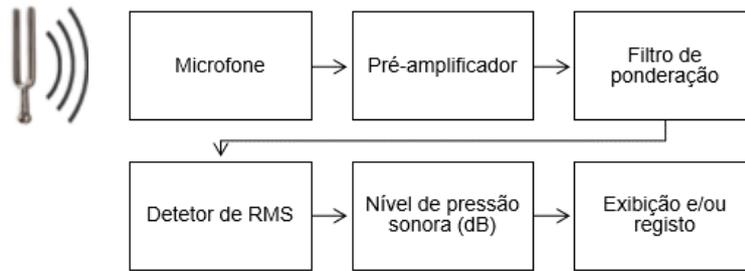


Figura 2.6 - Design de um sonómetro convencional (Adaptado de Stevens, 2012)

2.1.5. Ruído ambiente

O ruído ambiente corresponde ao ruído produzido por diversas atividades humanas, como transportes, indústria, entre outras e a que está exposta a população (Diretiva n.º 2002/49/CE). Por conseguinte, estamos continuamente expostos a ruído desta natureza no nosso quotidiano, dependendo da nossa atividade, localização e período do dia. O ruído produzido por meios de transporte representa a principal fonte de ruído ambiente, em especial nos meios urbanos, como grandes cidades. Na União Europeia, aproximadamente 40% da população está exposta a ruído de tráfego rodoviário com um nível sonoro equivalente acima de 55 dBA no período diurno e 20% da população está exposta a níveis acima de 65 dBA (WHO, 1999).

A grande variedade de fontes de ruído existente, especialmente em cidades, resulta num ambiente sonoro bastante complexo, que se caracteriza por uma grande flutuação nos níveis de ruído, tanto na dimensão espacial como temporal (Alam, 2010). De acordo com Guedes *et al.* (2011), a propagação do ruído ambiente em meios urbanos é fortemente condicionada pelo ordenamento do território. Os edifícios num padrão de elevada densidade funcionam como atenuadores dos níveis sonoros, constituindo obstáculos à propagação do ruído exterior. Esta condição implica que os edifícios formem zonas de sombra acústica, uma vez que no seu interior são percecionados níveis sonoros mais baixos. Contudo, esta atenuação depende da forma e posição dos edifícios face à fonte de ruído (Guedes *et al.*, 2011).

Ainda em relação ao ambiente sonoro urbano, Leóbon (Léobon, 1995 citado por Lebedowska 2005), apresenta uma classificação das fontes de ruído urbano, em seis categorias, são elas:

- Ruído de fundo;
- Equipamento mecânico, onde se inclui o ruído gerado pelos meios de transporte e unidades industriais;
- Atividades humanas, onde se insere o ruído gerado por atividades de lazer;
- Ruídos da natureza, tais como o ruído gerado pelo vento, pela chuva e por animais;
- Presença humana;
- Discurso e comunicação.

Ruído de tráfego rodoviário

O ruído gerado por este tipo de tráfego apresenta dois componentes, o ruído produzido por um fluxo contínuo de veículos e o ruído gerado pela passagem de um veículo individual. Quanto ao primeiro componente, o ruído emitido resulta da contribuição de todos os veículos em circulação, apresentando assim um comportamento semelhante a uma fonte linear. O segundo componente, por corresponder a um único veículo exibe um comportamento semelhante a uma fonte pontual (Ouis, 2001).

Considerando apenas o veículo, o ruído por ele emitido resulta de diversas fontes: motor, exaustor, pneus e efeito aerodinâmico (resultante do movimento do veículo). Porém, a contribuição das diferentes fontes para o ruído total depende da velocidade a que circula o veículo. Deste modo, para velocidades baixas (inferiores a 50 km/h) a fonte de ruído predominante é o motor, por outro lado, para velocidades mais elevadas (acima dos 80 km/h) a fonte de ruído dominante é o contacto entre o pneu e a via (Muzet, 2007). Assim, considerando que num contexto urbano os veículos circulam a velocidades próximas dos 50 km/h, podemos afirmar que o ruído gerado pelo motor constitui a principal fonte de ruído.

Este tipo de ruído apresenta ainda uma grande variabilidade por ser influenciado por diversos fatores, como volume de tráfego, velocidade e tipologia dos veículos em circulação (Saenz e Stephens, 1986).

Ruído de tráfego ferroviário

Tal como no caso anterior, o ruído gerado pelo tráfego ferroviário pode ser descrito por dois componentes, isto é, o ruído gerado pelo comboio individual e o ruído produzido pelo fluxo de tráfego (EC, 2003).

Analisando o comboio como um veículo individual, podemos caracterizar três fontes de ruído: motor, rolamento e o efeito aerodinâmico. Na Figura 2.7 podemos observar a relação entre a velocidade do comboio e o nível de ruído emitido, o que ilustra o modo como o ruído emitido pelo comboio está também dependente da velocidade de circulação do mesmo.

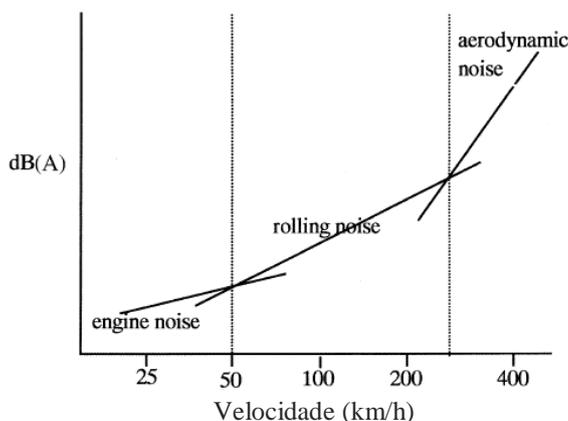


Figura 2.7 - Nível sonoro dos diferentes componentes do comboio, a diferentes velocidades (Adaptado de Brons *et al.*, 2003)

O ruído gerado pelo motor predomina a uma velocidade de circulação inferior a 50 km/h e é influenciado pela fonte de energia do comboio, sendo maior no caso de um comboio movido a *diesel*, quando comparado com um comboio elétrico.

O ruído gerado pelo rolamento resulta do contacto entre as rodas do comboio e os carris e constitui a principal fonte de ruído a uma velocidade de circulação entre 50 e 300 km/h. Este tipo de ruído é influenciado pela rugosidade da superfície da linha férrea, uma vez que quanto maior a rugosidade maior o atrito gerado, resultando na emissão de um nível sonoro mais elevado. Existem outros aspetos que influenciam o ruído de rolamento como a existência de descontinuidades na linha férrea (e.g. junções) ou curvas.

Por fim, o ruído aerodinâmico predomina a uma velocidade superior a 300 km/h e deve-se à turbulência do ar gerada pela passagem do comboio (Brons *et al.*, 2003). Tendo em conta as velocidades de circulação que se verificam num contexto urbano, a fonte de ruído predominante, para este tipo de tráfego está relacionada com o contacto entre a roda e o carril.

Quanto à segunda componente deste tipo de ruído, o fluxo de tráfego, ela é influenciada por diversos fatores, como a densidade de tráfego, a velocidade de circulação e a tipologia de comboios (Brons *et al.*, 2003).

Ruído de tráfego aéreo

O ruído originado por este tipo de tráfego caracteriza-se por ser descontínuo e irregular, consequência da elevada altitude a que circulam as aeronaves. Desta forma, os níveis sonoros emitidos são mais elevados durante as operações de aterragem e descolagem de um avião, tendo em conta a percepção de ruído junto ao solo (Davis e Cornwell, 1998).

Isolando o ruído emitido pelo avião podemos identificar as diversas fontes responsáveis pela sua origem, grande parte das quais são comuns a todos os tipos de aeronaves. Porém a sua contribuição para o ruído global difere consoante o tipo de propulsão utilizado (Saenz e Stephens, 1986).

Podemos distinguir cinco tipos de sistemas de propulsão (Saenz e Stephens, 1986):

- Motor a pistão com hélice;
- Turbo-jato;
- Turbohélice;
- Turbo *fan*;
- *Prop fan*.

Atualmente, o motor de pistão é utilizado apenas em pequenos aviões de uso privado e comercial. As principais fontes de ruído associadas a este sistema de propulsão são o disparo do escape e a hélice. O ruído emitido pela hélice divide-se ainda em dois componentes: o ruído rotacional e o ruído de vórtex. O primeiro é originado pela agitação periódica do ar que ocorre no disco da hélice e representa o

componente predominante. O segundo é consequência de distúrbios aleatórios e instáveis, provocados pelo movimento das pás (Saenz e Stephens, 1986).

Quanto aos sistemas de propulsão turbo-jato e turbo *fan*, estão envolvidas as seguintes fontes de ruído: ventilador, compressor, combustor, turbina e jato de escape. Para sistemas de turbo-jato e turbo *fan* (com baixa relação *bypass*), a fonte de ruído predominante é o jato de escape, sendo o ruído gerado pelo compressor dominante somente durante a aterragem. Para sistemas de turbo *fan* com elevada relação *bypass* verifica-se o oposto, isto é, o jato de escape apresenta uma contribuição mais baixa para o ruído global (Saenz e Stephens, 1986).

O ruído emitido pelo jato de escape resulta da mistura turbulenta do jato com o ar circundante, a alta velocidade. Esta mistura origina flutuações de pressão no jato de escape, que por sua vez geram ondas sonoras que atravessam a atmosfera (Saenz e Stephens, 1986).

Outra fonte de ruído neste tipo de tráfego é a fuselagem do avião, responsável pela emissão de ruído aerodinâmico provocado pela turbulência gerada aquando da passagem do fluxo de ar pela superfície exterior do avião. Esta estrutura da aeronave constitui a fonte de ruído predominante durante a aterragem (Saenz e Stephens, 1986).

2.1.6. Enquadramento legal

À escala nacional, o enquadramento legal do ruído ambiente é assegurado pelo **Decreto-Lei n.º 9/2007**, de 17 de Janeiro, que aprovou o Regulamento Geral de Ruído (RGR), a par do **Decreto-Lei n.º 146/2006**, de 31 de Julho, que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE, de 25 de Junho, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, no âmbito da avaliação e gestão do ruído ambiente.

A nível comunitário, a **Diretiva n.º 2002/49/CE**, designada habitualmente como Diretiva do Ruído Ambiente (DRA), impõe aos Estados-Membros a recolha de dados relativos aos níveis de ruído ambiente para posterior avaliação e comunicação ao público. Este instrumento tem como objetivo "...prevenir e reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente" (Decreto-Lei n.º 146/2006). Consequentemente impõe aos Estados-Membros a obrigatoriedade de recolha e disponibilização de informação junto do público, acerca dos níveis de ruído ambiente a que estão expostos. Informação que deve ser apresentada sob a forma de mapas estratégicos de ruído, elaborados de acordo com critérios técnicos de determinação de níveis de ruído ambiente, definidos a nível comunitário. Nestes critérios incluem-se indicadores e métodos de avaliação harmonizados.

A elaboração dos mapas estratégicos é obrigatória para fontes de ruído que possam gerar grandes problemas de poluição acústica, como grandes infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo, bem como aglomerações populacionais de maior dimensão. A representação cartográfica deste tipo de informação permite identificar zonas problemáticas onde é necessário atuar. Desta forma, com base nos mapas estratégicos de ruído deverão ser elaborados planos de ação onde sejam definidas

medidas de redução de ruído, caso os níveis de exposição verificados sejam suscetíveis de causar efeitos nocivos na saúde humana. A revisão destes instrumentos deve ser efetuada de cinco em cinco anos (Diretiva n.º 2002/49/CE).

As autoridades competentes em cada Estado-Membro, em matéria de ambiente, possuem a obrigação de comunicar à Comissão Europeia a informação resultante dos mapas estratégicos de ruído e respetivos planos de ação (Diretiva n.º 2002/49/CE).

O Regulamento Geral do Ruído tem como finalidade estabelecer "...o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações". Este diploma possui um âmbito mais alargado que a DRA, sendo também aplicável às atividades ruidosas permanentes, às atividades ruidosas temporárias, a outras fontes de ruído e ao ruído de vizinhança (Decreto-Lei n.º 9/2007).

Para a avaliação do ruído e conseqüente produção de mapas estratégicos, são estabelecidos dois indicadores de ruído de referência. São eles o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}) e o indicador de ruído noturno (L_n), ambos expressos em dBA (Decreto-Lei n.º 9/2007).

O indicador L_{den} representa o incómodo global e pode ser obtido através da seguinte expressão (Decreto-Lei n.º 9/2007):

$$L_{den} = 10 \times \log_{\frac{1}{24}} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \quad (5)$$

Onde L_d representa o indicador de ruído diurno, o L_e representa o indicador de ruído do entardecer e, por fim, o L_n representa o indicador de ruído.

Os indicadores de ruído mencionados referem-se a períodos de referência, definidos por forma a abrangerem as atividades humanas típicas. O presente Regulamento delimita assim três períodos de referência: diurno (das 7 às 20 horas), entardecer (das 20 às 23 horas) e noturno (das 23 às 7 horas) (Decreto-Lei n.º 9/2007).

A informação relativa aos níveis de ruído ambiente, necessária para a elaboração dos mapas de ruído, pode ser obtida através de técnicas de modelação apropriadas ou recolha de dados acústicos, através de técnicas de medição normalizadas (Diretiva n.º 2002/49/CE).

2.1.7. Mapeamento do ruído

O mapeamento estratégico do ruído tem como finalidade avaliar a exposição ao ruído que resulta da presença de fontes de ruído como rodovias, ferrovias e unidades industriais numa área particular. Deste modo o mapa resultante evidencia espacialmente a variação espacial dos níveis de ruído ambiente (Figura 2.8) (EPA, 2011).

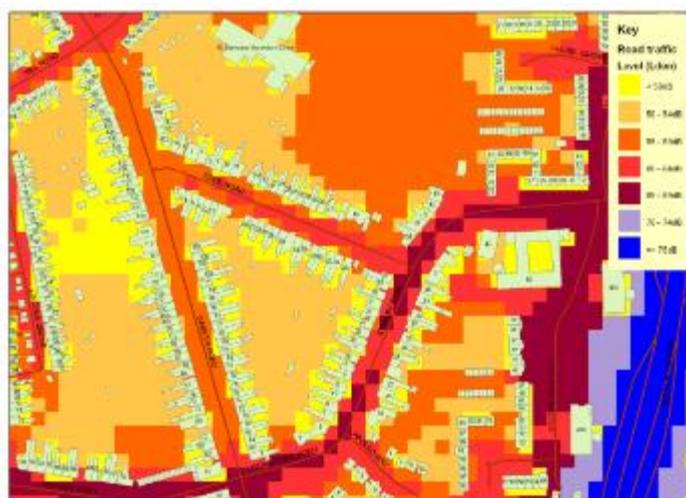


Figura 2.8 - Exemplo de representação gráfica de um mapa de ruído (EPA, 2011)

A elaboração de mapas de ruído não é uma prática recente, pois desde a década de 1970 que são produzidos mapas em diversos países europeus. Porém não existia uma harmonização quanto aos métodos e procedimentos adotados. A DRA constitui assim a primeira tentativa de conciliar o processo de mapeamento do ruído a nível europeu (Ripoll, 2005).

Habitualmente os mapas são produzidos com recurso a técnicas de modelação computacionais, ou seja, através de um *software* de modelação que possibilita a determinação dos níveis sonoros emitidos por fonte e/ou dos indicadores de ruído. Para este tipo de informação é necessário inserir no *software* de modelação dados referentes às fontes de ruído relevantes e à propagação de ruído (EPA, 2011).

O mapeamento de ruído pode ainda ser efetuado recorrendo a medições de ruído reais, ou através de uma combinação entre medições reais e modelação (Ripoll, 2005). As medições de ruído são obtidas através da implementação de uma rede de monitorização de ruído, o que exige um grande esforço no que respeita a recursos financeiros e materiais, consequentemente este método é pouco utilizado. As entidades oficiais, responsáveis pela elaboração dos mapas, não possuem habitualmente os recursos necessários para obter dados significativos sobre a exposição ao ruído que representem um ano médio. Deste modo optam frequentemente por recorrer à modelação, utilizando as medições reais apenas para efeitos de validação dos mapas produzidos (WG-AEN, 2006).

Face aos métodos de mapeamento de ruído disponíveis não é possível afirmar qual o mais adequado, apresentando ambos vantagens e desvantagens, sendo acima de tudo complementares (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Comparação entre métodos de mapeamento de ruído (Ripoll, 2005)

	Técnicas de modelação	Medições reais
Vantagens	<ul style="list-style-type: none">• Permite avaliar os impactes esperados de desenvolvimentos planeados;• Permite avaliar o desempenho de medidas de redução de ruído;• Permite estimar os níveis de ruído em grandes áreas, sem necessidade de medições;	<ul style="list-style-type: none">• Fornece dados com maior precisão;• Reflete os níveis de ruído reais, na área monitorizada;
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none">• Limitado pela disponibilidade de dados de entrada;• Custo do <i>software</i>;	<ul style="list-style-type: none">• Requer uma grande quantidade de recursos;

Alguns peritos argumentam que a combinação de ambos os métodos permite obter mapas mais precisos, relativamente aos obtidos exclusivamente através de técnicas de modelação. Face à utilização de redes de monitorização de ruído, esta combinação possui a vantagem de permitir um menor dispêndio de tempo na elaboração de mapas (Ripoll, 2005).

2.2. O ruído e a saúde

2.2.1. Anatomofisiologia do sistema auditivo humano

O ouvido é o órgão associado ao sentido da audição, permitindo-nos interpretar vibrações como som. Deste modo, a sua função é converter a vibração física num impulso nervoso que será depois processado pelo sistema nervoso (WHO, 1995). Tal como referido anteriormente este órgão é sensível a sons com frequências entre 20 Hz e 20 kHz (Kinsler *et al.*, 2000).

De um modo geral, a energia que chega ao ouvido através de ondas sonoras, é convertida em sinais elétricos, que são transmitidos ao cérebro através dos nervos auditivos, resultando em sensações auditivas. Em conjunto com o sistema nervoso, o ouvido atua como um analisador sonoro, detetando diferentes frequências, magnitudes e direções de fontes sonoras (Liu e Roberts, 1999).

No entanto, a transmissão de vibração entre dois meios com diferentes impedâncias características, como é o caso do ar e da água, dificilmente ocorre. Para ultrapassar esta incompatibilidade, o ouvido desenvolveu um mecanismo de transmissão de som complexo (WHO, 1995).

Anatomia do ouvido humano

O ouvido é uma das estruturas mais complexas e delicadas do corpo humano. Em relação à sua anatomia, pode ser dividido em três partes principais: o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno.

O **ouvido externo** constitui a única parte do sistema auditivo que se encontra habitualmente visível e é composto pelo pavilhão auricular e pelo canal auditivo (Figura 2.9). A sua função é recolher ondas sonoras e transmitir a energia associada para o tímpano (ouvido médio), através do canal auditivo (Liu e Roberts, 1999).

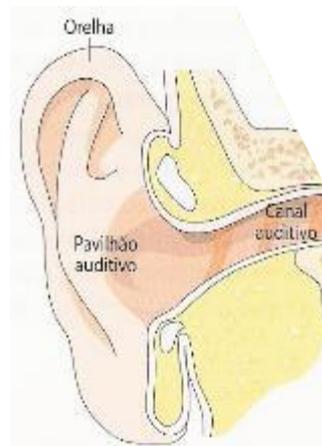


Figura 2.9 - Anatomia do ouvido externo (Adaptado de Prof2000, 2013)

O pavilhão auricular corresponde à protuberância que sobressai do crânio e devido às circunvoluções que possui origina reflexões e ressonâncias no seu interior, que estão dependentes da frequência e direção do som incidente (Bies e Hansen, 2009). Por esta razão, esta estrutura desempenha um papel importante na localização da fonte sonora (WHO, 1995).

O canal auditivo apresenta uma forma tubular e possui um comprimento de aproximadamente três centímetros. Por se encontrar aberto somente numa das suas extremidades origina ressonâncias para frequências em que o comprimento do canal auditivo corresponde a um quarto do comprimento de onda do som incidente (Kinsler *et al.*, 2000). Este canal contém uma parte exterior e uma parte interior, existindo uma dobra na junção de ambas as partes, que tem como finalidade proteger o tímpano (ouvido médio) que se encontra na extremidade do canal auditivo. Ou seja, esta dobra evita a entrada de objetos estranhos passíveis de causar danos (WHO, 1995).

O **ouvido médio** não é mais do que um espaço preenchido com ar e delimitado pelo tímpano, cóclea (ouvido interno) e trompa de Eustáquio (Figura 2.10). Aloja ainda um conjunto de três ossículos, o martelo, a bigorna e o estribo, cuja função é encaminhar o som do tímpano para o ouvido interno (WHO, 1995). Esta cavidade é mantida à pressão atmosférica através da abertura ocasional da trompa de Eustáquio, que ocorre devido à contração dos músculos do palato, durante o bocejar, o mastigar e o engolir (Davis e Cornwell, 1998).

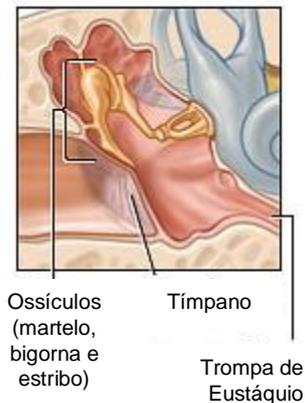


Figura 2.10 - Anatomia do ouvido médio (Adaptado de Healthwise Staff, 2012)

O tímpano encontra-se ligado à cadeia de ossículos, isto é, está diretamente unido ao martelo, que por sua vez comunica com o estribo através da bigorna. O estribo está ainda ligado à janela oval, estrutura que comunica com o ouvido interno. A transmissão do som neste espaço ocorre ao longo desta cadeia (Bies e Hansen, 2009).

O **ouvido interno**, também denominado labirinto, é composto por três partes: vestíbulo, canais semicirculares e cóclea (Figura 2.11). O vestíbulo está unido ao ouvido médio através das janelas oval e redonda. Os canais semicirculares não desempenham qualquer função auditiva, no entanto são importantes para a manutenção do equilíbrio do corpo humano (Kinsler *et al.*, 2000).

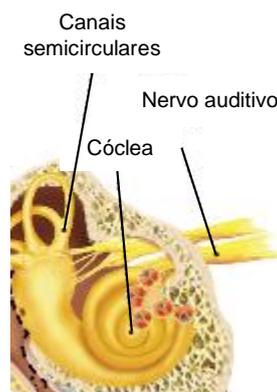


Figura 2.11 - Anatomia do ouvido interno (Adaptado de Hear for Life, 2013)

A cóclea consiste numa estrutura óssea, enrolada sob a forma de uma espiral, que aloja o órgão responsável pela audição, o órgão de Corti (Liu e Roberts, 1999). Esta estrutura divide-se internamente em duas galerias, uma superior (*scala vestibuli*) e uma inferior (*scala tympani*). Esta divisão é originada pelo canal coclear (*scala média*) ou partição coclear. As duas galerias estão unidas à extremidade apical da cóclea através de uma pequena abertura, o helicotrema, e estão preenchidas com um fluido designado perilíngua, onde flutua a partição coclear (Bies e Hansen, 2009). Por seu lado esta partição está preenchida por um líquido denominado endolíngua, que banha o órgão de Corti (Liu e Roberts,

1999). Na extremidade basal da cóclea, as galerias superior e inferior terminam nas janelas oval e redonda, respetivamente (Bies e Hansen, 2009).

A partição coclear é delimitada pela membrana de Reissner, pela membrana basilar e pela estria vascular. O órgão de Corti está localizado junto à membrana basilar, onde se encontram as células ciliadas sensíveis ao som. Por sua vez estas células estão unidas ao nervo auditivo (Bies e Hansen, 2009).

2.2.2. Fisiologia do ouvido humano

A perceção do som é possível devido a processos distintos e complementares que ocorrem a nível do ouvido.

Inicialmente ocorre um processo de **transdução mecânica**, que consiste na condução e amplificação do estímulo sonoro do ouvido externo para o ouvido médio. As ondas de pressão sonora são captadas pelo canal auditivo externo e como resposta o tímpano vibra. Essa vibração é depois transmitida para o sistema de alavancas, constituído pela cadeia de ossículos, onde ocorre uma amplificação hidráulica, como resultado do movimento das ondas de pressão sonora de uma grande área superficial (tímpano) para uma área mais pequena (estribo). Por fim, dá-se a transmissão destas mesmas ondas, já amplificadas, para a janela oval (Davis e Cornwell, 1998).

De seguida ocorre um processo de **transdução do sinal**, correspondendo à conversão do estímulo sonoro para um impulso nervoso, que será depois enviado para o sistema nervoso central. A vibração mecânica que ocorre na janela oval gera um movimento ondulatório no fluido, que preenche os compartimentos do ouvido interno (Liu e Roberts, 1999). Este movimento viaja para a membrana basilar onde origina a vibração das células ciliadas que por sua vez desencadeia a produção de impulsos nervosos (Kinsler *et al.*, 2000).

Finalmente, dá-se a **condução do estímulo elétrico**, que se traduz pela condução dos impulsos nervosos da cóclea para o sistema nervoso central, através do nervo auditivo, para posterior processamento. O nervo auditivo encontra-se unido a dois componentes do sistema nervoso central, o sistema aferente e o sistema eferente. A ligação com o sistema aferente tem como finalidade transmitir informação para o cérebro, por seu lado a ligação com o sistema eferente é responsável pela transmissão de informação do cérebro para o ouvido (Bies e Hansen, 2009).

2.2.3. Efeitos do ruído na saúde pública

O ruído constitui um fenómeno inerente a um mundo civilizado, sendo o seu impacte maior em meios urbanos. O seu efeito junto da população é negativo na medida em que contribui para a degradação da qualidade de vida dos indivíduos, podendo originar diversos problemas de saúde a curto e a longo prazo.

O ruído ambiente foi já reconhecido como um grave problema de saúde pública pela Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization - WHO*). Por esta razão, a WHO estabeleceu orientações relativas a tipo de ruído, com base nos seus efeitos na saúde, que se traduzem em níveis sonoros acima dos quais é esperada a ocorrência de impactes na saúde e/ou bem-estar humano. A WHO recomenda que dentro do quarto de dormir o indivíduo deve estar exposto a um nível de L_{Aeq} inferior a 30 dBA durante a noite, para que lhe possa ser proporcionado um sono de boa qualidade. Dentro de salas de aula a WHO recomenda um L_{Aeq} inferior a 35 dBA, para que sejam proporcionadas boas condições de ensino e aprendizagem. Em áreas habitacionais exteriores (e.g. terraço), a WHO recomenda que o indivíduo não deve estar exposto a um L_{Aeq} superior a 55 dBA, durante os períodos diurno e noturno, para que não se gere incómodo (WHO, 1999).

A população também já encara o ruído como um problema ambiental, que está a emergir como uma das principais causas de incómodo ambiental na Europa. É cada vez maior o número de queixas registado em espaço europeu relacionadas com ruído excessivo (WHO Europe, 2013). A nível dos Estados-Membros da União Europeia, a percentagem de população que apresenta queixas quanto ao ruído varia desde 12% (na Hungria, Islândia, Irlanda e Noruega) até 31% (no Chipre e Roménia) (WHO Europe, 2010). De acordo com o Eurostat, em 2011, 19,8 % da população total da UE-27 declarou ser afetada por ruído proveniente de vizinhos ou da rua. Esta percentagem tem vindo a diminuir desde 2005, como se pode verificar na Tabela 2.2. No que respeita a Portugal, verifica-se uma maior flutuação quanto à percentagem de população afetada por ruído, mantendo-se, porém, sempre acima da percentagem média europeia (Eurostat, 2013a).

Tabela 2.2 - Proporção da população que vive em agregados familiares e que declara ser afetada por ruído proveniente dos vizinhos ou da rua (Eurostat, 2013)

Proporção da população que vive em agregados familiares e que declara ser afetada por ruído proveniente dos vizinhos ou da rua (%)		
Ano	UE-27	Portugal
2005	24,0	25,9
2006	23,8	25,3
2007	23,1	27,5
2008	21,8	24,2
2009	22,2	23,9
2010	20,6	22,9
2011	19,8	23,1

De acordo com a WHO, o Programa Internacional sobre Segurança Química apresentou uma definição de **efeito prejudicial do ruído**. Este efeito traduz-se numa alteração da morfologia e fisiologia de um organismo que resulta numa deterioração da capacidade funcional, numa deterioração da capacidade para compensar o *stress* adicional ou num aumento da suscetibilidade do organismo a efeitos adversos, provenientes de outros fatores ambientais (WHO, 1999). Os efeitos do ruído na saúde são assim desencadeados por mecanismos fisiológicos.

Os efeitos do ruído ambiente na saúde podem ser classificados em duas categorias, efeitos auditivos e efeitos não-auditivos. A primeira categoria diz respeito a efeitos da exposição ao ruído no sistema auditivo humano, sendo a perda de audição o principal. Efeitos não-auditivos correspondem a todos os efeitos sobre a saúde e bem-estar, originados pela exposição ao ruído, à exceção de efeitos sobre o órgão responsável pela audição e a efeitos causados pelo mascaramento de informação auditiva (Stansfeld e Matheson, 2003).

Efeitos auditivos

Uma das principais consequências da exposição prolongada ao ruído no sistema auditivo é a **perda de audição**, que resulta de danos provocados no ouvido por este ser sensível a ruídos mais intensos. Esta sensibilidade verifica-se particularmente a nível das células ciliadas externas, que podem sofrer danos ou até mesmo ser destruídas antes que as células ciliadas internas sofram danos comparáveis. Por as células ciliadas externas serem essenciais para o correto funcionamento do ouvido - a sua danificação prejudica a audição (Liu e Roberts, 1999).

O mecanismo de perda de audição induzida pelo ruído está relacionado com a danificação de células ciliadas. Esta deterioração é de natureza mecânica quando a perda de audição resulta de exposição a um ruído espontâneo muito intenso. Quando se trata de uma exposição prolongada a ruído excessivo, a perda de audição deve-se à deterioração química, isto é, ocorre a formação de moléculas prejudiciais no ouvido interno, como resultado do *stress* induzido pela redução do fluxo sanguíneo na cóclea. Essa redução tem origem na presença de ruído excessivo. Estas moléculas acumulam resíduos tóxicos, designados de “radicais livres de oxigénio”, que danificam diversas estruturas fundamentais na cóclea, resultando em lesões e morte a nível celular. Estas lesões são irreversíveis, resultando numa perda permanente de audição (Liu e Roberts, 1999).

É possível identificar diversos fatores de risco que influenciam o mecanismo de perda de audição, os quais podem ser divididos em dois grupos: modificáveis e não modificáveis. Fatores de risco modificáveis correspondem a comportamentos de risco que potenciam danos no sistema auditivo, tais como a não utilização de proteção auricular, ser fumador, falta de exercício, má nutrição e exposição voluntária a ruído excessivo. Fatores de risco não modificáveis correspondem a características inerentes ao indivíduo, como idade, genética, género e etnia (Daniel, 2007).

Efeitos não-auditivos

A exposição a ruído excessivo tem outros efeitos negativos no corpo humano, além dos que estão relacionados diretamente com o sistema auditivo. Por perturbar a comunicação e a realização de atividades, gera incómodo o que por sua vez pode originar respostas de *stress* e posteriormente sintomas e enfermidade. Contudo, o ruído pode ter igualmente um efeito negativo direto na saúde, o qual está dependente de algumas características acústicas do ruído, como a sua intensidade, frequência, complexidade e duração (Stansfeld e Matheson, 2003).

O sono constitui um processo de recuperação essencial para que o corpo humano possa funcionar corretamente, constituindo um requisito importante para a obtenção de uma boa qualidade de vida. Desta forma, a interferência no sono prejudica as suas funções como restaurador do cérebro e fornecedor de um período de descanso para o sistema cardiovascular (Passchier-Vermeer e Passchier, 2000). A **perturbação do sono**, devido à exposição ao ruído, é proporcional à quantidade de ruído experienciado. Esta relação traduz-se num aumento proporcional da taxa de alteração das fases do sono e no aumento do número de despertares. É expectável a ocorrência de distúrbios no sono caso se verifiquem mais de 50 acontecimentos acústicos por noite, em conjunto com um nível sonoro interior máximo igual ou superior a 50 dBA (Stansfeld e Matheson, 2003).

A exposição a ruído durante o sono pode causar o aumento da pressão arterial e da frequência cardíaca. No entanto, a manifestação de efeitos resultantes desta exposição pode ocorrer também no período diurno seguinte, manifestando-se através da perturbação nas performances cognitivas e de vigília (Stansfeld e Matheson, 2003).

Existem evidências de que a exposição ao ruído **afeta a performance**, principalmente o processamento de informação, a atenção e a memória. O ruído provoca o aumento dos níveis de alerta/ativação e de atenção seletiva. Outros efeitos dizem respeito à redução da precisão da performance, assim como à redução da performance da memória a curto-prazo. Uma possível explicação para estas consequências é o facto de a presença de ruído aumentar a carga de trabalho mental imposta por determinada tarefa, o que origina a diminuição dos recursos cognitivos disponíveis para a sua realização (Szalma e Hancock, 2011). O ruído intermitente de curta duração é considerado o mais perturbador, pois consome recursos de processamento de informação que o indivíduo não consegue repor, devido à duração da exposição ser limitada. Pelo contrário, no caso de exposição prolongada a ruído contínuo, o indivíduo consegue desenvolver mais facilmente estratégias de adaptação (Szalma e Hancock, 2011).

O ruído origina respostas fisiológicas de curto-prazo previsíveis, mediadas pelo sistema nervoso autónomo, entre as quais se incluem o aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial, a vasoconstrição periférica e consequentemente a resistência vascular periférica. O reconhecimento da grande maioria dos **efeitos do ruído no sistema cardiovascular** advém de estudos realizados no contexto da pressão arterial, em locais de trabalho. Estes estudos sugerem que indivíduos expostos de forma prolongada, a níveis de ruído contínuo iguais ou superiores a 85 dBA, possuem uma pressão arterial mais elevada do que aqueles que não são sujeitos a níveis de ruído desta ordem de valores (Stansfeld e Matheson, 2003).

Foram executados estudos sobre a relação entre ruído de tráfego e os seus efeitos cardiovasculares, com particular incidência nos tráfegos rodoviário e aéreo. Foram analisados efeitos relacionados com a pressão arterial, hipertensão e doenças isquémicas do coração. Os resultados evidenciam que o ruído de tráfego rodoviário aumenta o risco de doença isquémica do coração, incluindo o risco de enfarte do miocárdio. Relativamente ao ruído aéreo as evidências são menores, consequência da

escassez de estudos existentes neste contexto. Porém, é cada vez mais evidente a associação entre exposição a ruído de tráfego (rodoviário e aéreo) e o aumento do risco de hipertensão (WHO Europe, 2011).

A resposta subjetiva à exposição a ruído mais generalizada é a sensação de **incômodo**, que se pode manifestar através do medo ou irritação (Stansfeld e Matheson, 2003). Indivíduos que se sentem incomodados pelo ruído podem ainda manifestar outras respostas negativas como frustração, insatisfação, depressão, ansiedade, distração, agitação ou exaustão (WHO Europe, 2011). Estas reações estão relacionadas com o grau de interferência que o ruído provoca nas atividades quotidianas dos indivíduos (Stansfeld e Matheson, 2003). Estudos realizados com foco nos diferentes tipos de tráfego evidenciaram uma associação entre níveis de ruído e incômodo através de uma relação dose-resposta. O tráfego aéreo é tido como o principal causador de incômodo, quando comparado com os tráfegos rodoviário e ferroviário (HCN, 1993).

A sensação de incômodo é influenciada por características acústicas do ruído, como intensidade e frequência, tendo a primeira maior influência. Apesar disso, existem fatores não acústicos que podem também gerar incômodo, como receio de perigo advindo da fonte de ruído, sensibilidade do indivíduo ao ruído, a crença de que as autoridades podem controlar a exposição ao ruído, a consciência dos impactes não-acústicos da fonte de ruído e, por último, a convicção de que a fonte de ruído não é importante (Stansfeld e Matheson, 2003).

2.3. Relação entre monitorização ambiental e participação pública

A monitorização tem como principal função constituir uma ferramenta no auxílio da gestão eficiente de recursos, isto é, de suporte à tomada de decisão. Desta forma, a monitorização pode ser definida como a mensuração periódica de parâmetros adequados para determinar o efeito de políticas ou decisões sobre a gestão de recursos, assim como a resposta do sistema a mudanças no ambiente. Deste processo resultam dados quantitativos obtidos a partir de medições, ou qualitativos provenientes de observação subjetiva (Bosch, 1996).

Um programa de monitorização pode ser estabelecido tendo em vista diversos objetivos (Lee e Bradshaw, 2004):

- Avaliar o estado dos recursos a serem geridos;
- Avaliar a eficiência de decisões de gestão ou políticas;
- Dar uma visão do modo como funcionam os sistemas ambientais.

Adicionalmente, para que este seja bem-sucedido devem ser seguidas determinadas linhas de orientação quanto ao seu desenvolvimento e posterior implementação (Silsbee e Peterson, 1993):

1. Definição de objetivos;
2. Determinar os parâmetros e locais a serem monitorizados, de acordo com os objetivos estabelecidos;

3. Definir métodos e locais de amostragem;
4. Realizar um estudo piloto para determinar a variabilidade espacial e temporal dos parâmetros, assim como o custo de amostragem;
5. Avaliar os resultados do estudo piloto por forma a verificar se os objetivos do programa podem ser atingidos de forma custo-eficaz;
6. Revisão dos objetivos, parâmetros e métodos que constituem o programa de monitorização e posterior implementação do mesmo.

Durante um longo período dominou uma abordagem em que a monitorização era realizada exclusivamente por profissionais, incluindo cientistas e gestores de recursos, pelo que não existia um envolvimento de todos os *stakeholders* (Danielsen *et al.*, 2008). Esta abordagem possui diversas limitações, entre elas o elevado custo financeiro que acarreta o que a pode tornar insustentável a longo prazo. Outras restrições prendem-se com a dificuldade em fornecer informação adequada para sensibilizar e educar o público sobre questões ambientais, bem como conceder aos gestores uma base sólida para que possam tomar decisões informadas (Vaughan, 2003).

De forma a colmatar estas limitações, ocorreu uma mudança de abordagem no que respeita ao modo como é conduzida a monitorização ambiental. Esta alteração traduziu-se na inclusão das comunidades no processo, dado existir cada vez mais a consciência de que a incorporação da participação pública na gestão de recursos naturais permite uma gestão mais sustentável (Chicoine, 1996). Particularmente a nível da monitorização, o envolvimento dos cidadãos constitui um modo custo-eficaz de obter informação ambiental que pode ser utilizada como complemento da informação recolhida por profissionais (Gollan, 2012).

2.3.1. Vantagens e desvantagens da utilização de voluntários na monitorização ambiental

Este novo paradigma de monitorização ambiental apresenta diversas vantagens e desvantagens. As quais são apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens da inclusão de voluntários na monitorização ambiental (Gouveia *et al.*, 2004)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Promover a sensibilização do público sobre problemas ambientais, através do fornecimento de informação, o que contribui para a sua participação pública na proteção do ambiente; • Colaboração entre todas as partes interessadas (<i>stakeholders</i>); • Aumento, espacial e temporal, dos dados recolhidos sobre o estado do ambiente; • Redução de custos financeiros, uma vez que os cidadãos contribuem voluntariamente com o seu esforço e tempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor credibilidade dos dados; • Difícil comparabilidade dos dados recolhidos por voluntários com dados recolhidos por entidades oficiais; • Logística difícil.

2.3.2. O papel das tecnologias de informação e comunicação na gestão ambiental

As tecnologias de informação e comunicação (TIC) podem ser definidas como tecnologias utilizadas na recolha, partilha e distribuição de informação (Ogunsola e Aboyade, 2005). O seu aparecimento e crescente disponibilidade tiveram um impacto positivo na sociedade, nomeadamente aos níveis social, económico e ambiental (ITU, 2008).

Particularmente a nível ambiental, as TIC proporcionaram um aumento da capacidade de recolha e processamento de informação ambiental. Revelaram ser uma ferramenta útil em tarefas como recolha, validação, acesso, exploração e comunicação de dados ambientais (Gouveia *et al.*, 2004). Deste modo, constituem ferramentas essenciais no apoio à gestão ambiental, sendo utilizadas em diversas tarefas (Houghton, 2009):

- Observação e recolha de dados;
- Análise de dados ambientais;
- Planeamento do uso de recursos naturais, aos níveis local, regional e nacional;
- Capacitação dos cidadãos, através do aumento da consciência ambiental.

A recolha, análise e interpretação dos dados ambientais e a sua posterior transformação em informação são essenciais. Estas etapas permitem aos cidadãos e entidades governamentais tomarem decisões de modo mais eficiente, assim como educar e alterar os comportamentos da sociedade em geral. A utilização das TIC pode auxiliar estes objetivos, uma vez que estas tecnologias agilizam e tornam mais interativa a partilha de informação e conhecimento (Houghton, 2009).

Principais tecnologias TIC

É possível enumerar diversas tecnologias que apoiam a gestão ambiental e que se encontram classificadas como TIC, entre as quais:

- **Internet** – sistema global de informação que constitui um meio para agregar e partilhar dados e informação, assim como encorajar a colaboração entre diversos setores da sociedade (ITU, 2008);
- **Rede Wireless** – infraestrutura de comunicação sem fios utilizada para interligar diversos pontos de acesso, que podem ser constituídos por computadores ou telemóveis (Mulder e Vonk, 2002);
- **Computação móvel** – modo de visualização, recolha e transferência de informação de um equipamento móvel para um sistema de informação, com recurso a um ou diversos modos de transferência (IAMSE, 2013);
- **Sistema de Posicionamento Global (Global Position System - GPS)** – sistema de navegação baseado numa rede de satélites, que por triangulação permite determinar a posição de um recetor na Terra, quanto à sua latitude e longitude. No entanto a precisão da posição dada por este sistema está dependente de fatores atmosféricos e características de relevo do terreno (Rao, 2007);
- **Sistema de Informação Geográfica (SIG)** – sistema cujo objetivo principal é realizar análise espacial. Possibilita a recolha, armazenamento, interpretação e visualização de dados geográficos (Foote e Lynch, 2005).

2.3.3. As tecnologias de informação e comunicação e a participação pública na monitorização ambiental

Tradicionalmente a participação pública ocorre sob a forma de audiências públicas, as quais requerem a presença física dos cidadãos. Como tal podem constituir um fator limitante ao envolvimento de todos os *stakeholders*, uma vez que as audiências ocorrem em horários e localizações restritas. Alguns cidadãos podem ver-se impedidos de participar, quer seja por limitações horárias ou por falta de meio de deslocamento para o local em questão. Por outro lado, nestas audiências gera-se ocasionalmente um ambiente de confrontação, o que constitui outro fator desencorajador para a participação (Kingston *et al.*, 2000). As audiências públicas constituem assim canais de participação *offline* (Phang e Kankanhalli, 2008).

O aparecimento das TIC veio revolucionar o modo como são criadas as oportunidades de participação, tornando possível a criação de canais de participação *online*, através de ligação à *internet*. Desta forma os cidadãos ficam dotados de acesso a uma maior quantidade de informação, o que lhes permite participar de forma mais eficiente na tomada de decisão (Komito, 2005). A *World-Wide Web* (WWW) conduziu assim à criação de um domínio público para apoiar a interação e o debate entre os cidadãos, levando ao surgimento de novas formas de democracia que vieram revolucionar a sociedade atual. Desta forma deixaram de existir restrições geográficas e temporais à participação, pois a informação encontra-se acessível em qualquer lugar e a qualquer hora, mediante uma ligação à *internet* (Komito, 2005).

Este novo modo de participação obteve a designação de **e-participação** e assenta em três pilares fundamentais: cidadão, tecnologia e processo (Figura 2.12) (Salamat *et al.*, 2011). Esta forma de participação caracteriza-se assim pela utilização das TIC para reforçar e promover a participação pública, em processos de tomada de decisão, recorrendo a estas tecnologias para apoiar a comunicação e a partilha de conhecimento entre cidadãos, comunidades e entidades governamentais (Bailey e Ngwenyama, 2011). Para que as iniciativas de e-participação sejam bem-sucedidas é necessário criar um ambiente de fácil comunicação e confiança. Tendo em conta este objetivo, devem ser utilizadas ferramentas TIC como portais *Web* com fóruns de discussão e *chat online* (com requisito de autenticação), entre outras.

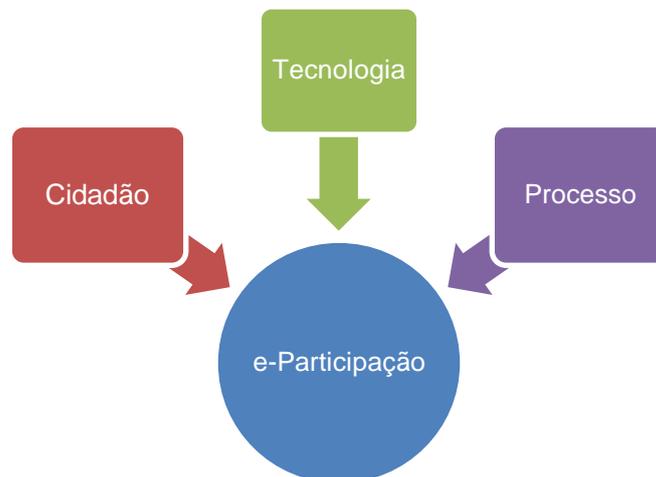


Figura 2.12 - Pilares da e-Participação (Adaptado de Salamat *et al.*, 2011)

No entanto, não existe uma única gama de ferramentas TIC adequadas a este tipo de iniciativas. Assim é necessário adaptar o conjunto de ferramentas empregadas aos objetivos da iniciativa em questão (Phang e Kankanhalli, 2008).

Utilização das TIC na monitorização ambiental

Tal como anteriormente realçado as TIC possuem um papel determinante na gestão ambiental, em particular no que se refere à inclusão de dados recolhidos por cidadãos em atividades de gestão, ou seja, na tomada de decisão ambiental. Estas tecnologias possuem um papel facilitador em termos das tarefas de monitorização ambiental, ao permitirem o desenvolvimento de iniciativas voluntárias por parte dos cidadãos. Isto é, as TIC possibilitam a implementação de iniciativas de monitorização colaborativa, devido à utilização da *internet*, bem como da computação e comunicação móveis. Estas ferramentas criaram novos modos de recolha, acesso, processamento e comunicação de dados ambientais (Gouveia *et al.*, 2004).

Especialmente o aparecimento das tecnologias *Web 2.0* veio transformar o modo como é criado e gerido o conteúdo *online*. Este termo refere-se a um conjunto de aplicações *online* interativas e controladas por utilizadores, de natureza *open-source*. Estas aplicações apoiam a criação de comunidades virtuais de utilizadores como forma de facilitar a partilha de ideias e conhecimento, ao

permitirem um eficiente desenvolvimento e partilha de conteúdos. Este conjunto de tecnologias engloba cinco categorias (Constantinides e Fountain, 2008):

- **Blogs** - abreviação de *Web logs*;
- **Redes sociais** – aplicações que permitem aos utilizadores criarem *Websites* pessoais, acessíveis a outros utilizadores (e.g. *Facebook*);
- **Comunidades** - *Websites* para partilha de determinados tipos de conteúdo (e.g. *Youtube*);
- **Fóruns** – *sites* para troca de ideias e informação, habitualmente sobre assuntos específicos (e.g. *Python*);
- **Agregadores de conteúdo** - aplicações que permitem aos utilizadores customizarem integralmente o conteúdo *Web* a que pretendem aceder (e.g. *Netvibes*).

A monitorização ambiental colaborativa pode beneficiar da utilização deste tipo de tecnologias, pois permitem a criação de comunidades virtuais de voluntários. Dentro destes grupos os utilizadores partilham objetivos comuns, dados e informação (Gouveia e Fonseca, 2008). É possível enunciar um conjunto de características que um sistema de monitorização ambiental colaborativa deve possuir, para que seja eficiente em diversos aspetos (Gouveia *et al.*, 2004):

- **Recolha de dados** - deve permitir a qualquer cidadão introduzir dados sobre o estado do ambiente, promovendo ao mesmo tempo a visibilidade dessa mesma informação e a reutilização dos dados por outros;
- **Acesso e exploração de dados** – deve permitir realizar pesquisas temáticas, temporais e espaciais de informação ambiental, assim como permitir a visualização interativa de dados;
- **Validação de dados** - deve existir uma estrutura para validação dos dados, por forma a apoiar os voluntários na recolha de dados com qualidade conhecida, para que a informação resultante se torne útil;
- **Comunidades de monitorização online** – estas comunidades devem permitir a todos os *stakeholders* partilharem as suas visões e receios sobre o estado do ambiente, para que possam empenhar-se conjuntamente na sua melhoria.

Dado este tipo de sistema centrar-se no envolvimento de cidadãos com diferentes níveis de conhecimento e na utilização das TIC, existem alguns desafios inerentes à sua implementação. Estas dificuldades estão relacionadas com o acesso e uso da tecnologia necessária, dado poderem existir lacunas relativamente ao conhecimento técnico necessário para lidar com este tipo de tecnologias. Por outro lado, os custos financeiros associados podem igualmente restringir o acesso dos cidadãos (Gouveia e Fonseca, 2008). Desta forma é necessário facilitar o acesso dos cidadãos às tecnologias TIC e fornecer o treino adequado para ultrapassar a sua falta de familiaridade. É ainda essencial a implementação de ferramentas de utilização simples, que facilitem a participação por parte de todos os *stakeholders* (Gouveia *et al.*, 2004).

2.3.4. Abordagens de participação pública na gestão ambiental

A crescente acessibilidade das TIC, particularmente às tecnologias *Web 2.0* e SIG, levaram à emergência de diversas abordagens baseadas no envolvimento de cidadãos em atividades de gestão

ambiental. Estas múltiplas abordagens diferem quanto ao seu âmbito (objetivo, domínio, público-alvo, requisitos de qualidade), escala (temporal, social e cultural), tipo de atividades desenvolvidas e nível de envolvimento dos cidadãos. É possível dividir as diferentes abordagens em três categorias principais: **contributivas**, **colaborativas** e **co-criadas** (Newman *et al.*, 2011).

A primeira categoria designa abordagens criadas por peritos em que os cidadãos contribuem somente com dados recolhidos. A segunda diz respeito a abordagens criadas habitualmente por peritos, mas onde os cidadãos para além de contribuírem com dados participam igualmente noutras tarefas como análise de dados e disseminação de informação. Por fim, a terceira categoria corresponde a abordagens criadas por colaboração entre peritos e cidadãos, estando estes últimos envolvidos diretamente na grande maioria das fases do processo de gestão (Bonney *et al.*, 2009). Na Tabela 2.4 são mencionados alguns exemplos pertencentes às diferentes categorias.

Tabela 2.4 - Categorias de abordagens de participação pública na gestão ambiental (Adaptado de Newman *et al.*, 2011)

Exemplo	Categoria
Ciência do cidadão – técnica de pesquisa que recruta cidadãos para recolha de informação científica (Bonney <i>et al.</i> 2009).	Contributiva
Informação geográfica voluntária (VGI — <i>Volunteered Geographic Information</i>) – criação de informação geográfica por cidadãos (Goodchild, 2007).	
Monitorização baseada na comunidade – processo em que comunidades colaboram para abordar questões de preocupação comum (Whitelaw <i>et al.</i> , 2003).	Colaborativa
Rede de Monitorização Ambiental Colaborativa – rede composta por cidadãos ou grupos de cidadãos que participam na monitorização ambiental (Gouveia e Fonseca, 2008).	
Sistemas de Informação Geográfica Participativos – utilização de SIG e outras tecnologias geoespaciais para envolver os cidadãos na tomada de decisão (Sieber, 2006).	Co-criada

Apesar das diferentes designações citadas, alguns autores englobam todas estas abordagens no termo “ciência do cidadão”, definindo-no como o conjunto de cenários em que cidadãos participam em processos científicos juntamente com peritos técnicos (Newman *et al.*, 2011).

2.4. Sensoriamento móvel

Os desenvolvimentos que ocorreram a nível das TIC, originaram avanços na tecnologia computacional muito para além dos computadores pessoais. Estes avanços tornaram possível a incorporação de várias interfaces de comunicação *wireless* e de diferentes tipos de sensores (*e.g.* microfone, câmara e GPS), em equipamentos móveis. Outra consequência foi o aumento da viabilidade técnica e económica deste tipo de equipamentos, permitindo a sua grande disseminação junto do público (Campbell *et al.*, 2002).

Esta nova tendência deu origem ao fenómeno **computação pervasiva**, que assenta na visão de que computadores, sensores e comunicações *wireless* constituem comodidades acessíveis ao público em geral. Disponibilizando, desta forma, serviços aos utilizadores independentemente do período do dia e do local em que se encontram. Deste modo, estes dispositivos permitiram maior funcionalidade, serviços especializados e maior produtividade (Campbell *et al.*, 2002). Todavia, este cenário não é ainda uma realidade em todo o seu potencial, pois esta interação Homem-computador não se tornou ainda completamente “invisível” para o utilizador. Ainda assim, no nosso quotidiano já nos encontramos rodeados por diversos equipamentos eletrónicos que possuem *chips*, processadores e que se encontram ligados entre si. A título de exemplo, podemos referir telemóveis, TV's, *tablets* e PDA's, dispositivos estes que são utilizados em grande escala.

O paradigma da computação pervasiva viabilizou a incorporação de sensores em pequenos equipamentos, tornando-os aptos para tarefas de sensoriamento. Ou seja, equipamentos adequados para a observação e registo de parâmetros físicos do seu ambiente circundante (Oliveira e Rodrigues, 2011).

2.4.1. Precedentes do sensoriamento móvel

Surgiram posteriormente sistemas de monitorização ambiental baseados em redes de sensores estáticos *wireless* (*wireless sensor networks* – WSN). Estas redes consistem na distribuição de pequenos sensores fixos contendo recursos de computação e processamento limitados. E podem ter incorporados uma variedade de sensores mecânicos, físicos, biológicos, entre outros, o que os capacita para medir e recolher informação em relação a propriedades do ambiente circundante. Os sensores são usualmente distribuídos por uma determinada região e transferem os dados recolhidos para uma base de dados, através de comunicação *wireless* (Figura 2.13). Devido a estas características, estas redes possuem diversas aplicações, entre elas a monitorização ambiental remota, ou seja, podem ser utilizadas para monitorizar uma determinada região e recolher dados ambientais (Yick *et al.*, 2008).

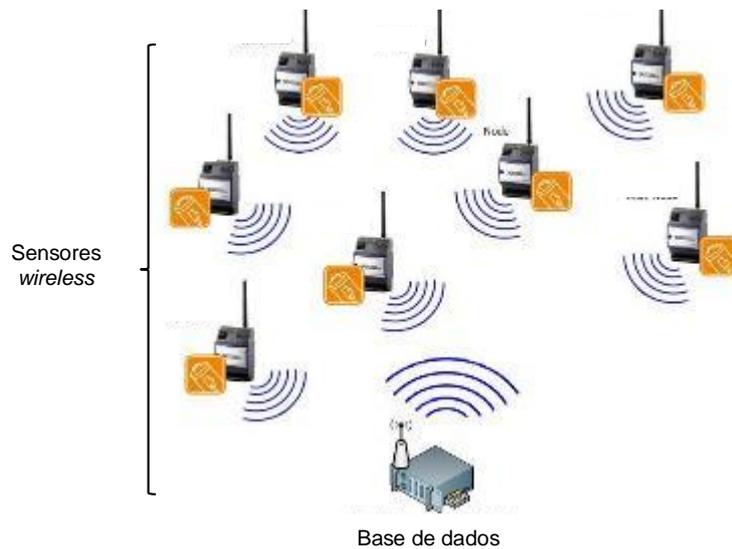


Figura 2.13 - Arquitectura de uma rede de sensores wireless (Adaptado de COMMON-Sense Net, 2013)

No entanto, este tipo de rede de sensores possui restrições quanto ao *design* e recursos utilizados em cada sensor. No que diz respeito aos recursos, estas limitações prendem-se com a quantidade de energia disponível, o curto alcance de comunicação, a baixa largura de banda (para transferência de dados) e as capacidades de armazenamento e processamento. Quanto às limitações de *design*, elas estão relacionadas com a determinação do tamanho, esquema de implementação e topologia da rede (Yick *et al.*, 2008). Um aspeto chave é então determinar quais as melhores localizações para os sensores, por forma a maximizar a área coberta, permitindo uma boa monitorização (Yan *et al.*, 2012).

2.4.2. Conceito de sensoriamento móvel

A natureza estática das redes tradicionais de sensores *wireless* coloca algumas restrições quanto à sua utilização na monitorização ambiental. Estes sistemas tornam-se inflexíveis quando se pretendem monitorizar eventos cuja localização é variável, dado a colocação dos sensores ser fixa. Outra limitação diz respeito à componente financeira, pois torna-se dispendioso implementar e manter uma grande rede de sensores estáticos. Por último, quando o objetivo é monitorizar uma área extensa pode vir a não ser viável implementar um número de sensores estáticos que permitam obter uma cobertura aceitável (Yan *et al.*, 2012).

Por forma a ultrapassar estes aspetos, os investigadores optaram por uma nova abordagem que consiste na implementação de redes de sensores *wireless* recorrendo a sensores móveis (Yan *et al.*, 2012). Esta nova abordagem foi designada **sensoriamento móvel** e consiste na distribuição de sensores móveis, como parte de um sistema de tarefas de sensoriamento. Devido à sua mobilidade estes sensores permitem uma cobertura de amostragem, relativamente a uma determinada área, de elevada densidade. São particularmente úteis para aplicações que não necessitem de uma recolha contínua de dados, sobre o mesmo local. Este tipo de sistema possui igualmente a designação de

mobiscope (Abdelzaher *et al.*, 2007) e pode ser utilizado de forma exclusiva ou como complemento de sistemas de sensoriamento fixo, colmatando assim as suas limitações.

Os sensores utilizados no sensoriamento móvel podem ser agrupados em duas categorias: sensores veiculares e sensores portáteis. Os **sensores veiculares** consistem em veículos equipados com diversos sensores e são aplicados essencialmente na monitorização de condições de tráfego e atmosféricas. Os **sensores portáteis** correspondem a telemóveis transportados por utilizadores, que tiram proveito dos diversos sensores neles incorporados (e.g. GPS e câmara fotográfica), para captar informação sobre o ambiente circundante (Abdelzaher *et al.*, 2007).

Smartphones como sensores móveis

Com o desenvolvimento tecnológico os telemóveis começaram a apresentar características de computadores pessoais, ou seja, evoluíram de forma a tornarem-se equipamentos com capacidades de computação, sensoriamento e comunicação. Face a este progresso, os telemóveis deixaram de ser um equipamento básico de comunicação móvel (Christin *et al.*, 2011). Um **smartphone** é assim definido como um telemóvel que inclui *software* apto a ser modificado e atualizado pelo utilizador. Este equipamento permite igualmente a troca de informação entre o telemóvel e sistemas externos (Töyssy e Helenius, 2006).

O facto de os *smartphones* conterem diversos sensores incorporados (e.g. acelerómetro, GPS, microfone, câmara e WiFi) e constituírem o principal meio de comunicação e computação móvel, veio aumentar a sua funcionalidade. Esta condição em conjunto com a sua crescente adoção possibilitou a sua aplicação a tarefas de sensoriamento (Lane *et al.*, 2010). Os *smartphones* possuem deste modo um grande potencial como sensores, uma vez que permitem a recolha, processamento e disseminação de dados junto dos cidadãos, em grande escala (Khan *et al.*, 2013). Assim, torna-se possível capacitar o cidadão comum para a recolha e partilha de dados sobre o seu ambiente envolvente, através do seu telemóvel (Christin *et al.*, 2011).

Em resumo, o *smartphone* contém um conjunto de capacidades que o torna apto para incorporação em aplicações de sensoriamento móvel (Mohan *et al.*, 2008):

- **Computação** – contém uma unidade central de processamento (CPU), um sistema operativo e capacidade de armazenamento, o que propicia uma plataforma de computação programável;
- **Comunicação** – permite a utilização de diferentes modos de comunicação
 - *Celular* – rádio para comunicação móvel por voz básica, como por exemplo GSM (*Global System for Mobile Communications*);
 - *Dados celulares* – tecnologia para transmissão de dados, como por exemplo GPRS (*General Packet Radio Services*) ou UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*);
 - *Wireless de área local* – rádios para comunicação local sem fios (e.g. *Bluetooth* e *WiFi*);

- **Sensoriamento** – contém diversos sensores que permitem a recolha de dados, em vários formatos;
 - *Áudio* – microfone;
 - *Localização* – receptor GPS;
 - *Movimento* – acelerómetro;
 - *Visual* – câmara fotográfica.

Atualmente, este tipo de sensor já é utilizado em diversos domínios, tais como:

- **Transportes** – os *smartphones* são utilizados na recolha e disponibilização de informações sobre tráfego automóvel, na estimativa de tempos de viagem e no planeamento de trajetos (Lane *et al.*, 2010);
- **Redes sociais** - os *smartphones* são utilizados no sensoriamento de presença, isto é, na classificação automática de eventos relacionados com o quotidiano dos cidadãos. Informação que é depois partilhada em redes sociais *online* (Lane *et al.*, 2010);
- **Saúde e bem-estar** – os *smartphones* permitem recolher informação *in situ* sobre os cidadãos (*e.g.* pulsação e pressão arterial) (Khan *et al.*, 2013), o que representa um potencial para alterar o modo como a saúde é avaliada e como são providenciados tratamentos (Lane *et al.*, 2010);
- **Monitorização ambiental** – os sensores incorporados nos *smartphones* são utilizados para captar dados relacionados com parâmetros ambientais, como qualidade do ar e ruído ambiente (Christin *et al.*, 2011).

Vantagens do sensoriamento móvel

Esta forma de sensoriamento proporciona algumas vantagens em comparação com as redes de sensores *wireless* estáticos, particularmente no que diz respeito a áreas urbanas. Por utilizar infraestruturas de sensoriamento (*smartphone*) e de comunicação (celular ou *wireless*) já existentes, o sensoriamento móvel representa um custo de implementação aproximadamente nulo.

A grande mobilidade associada aos utilizadores destes equipamentos permite obter uma grande cobertura espaciotemporal em relação a determinadas áreas, algo que é difícil alcançar com uma rede de sensores estáticos, devido aos custos financeiros que estariam adjacentes.

A grande disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento de *software*, para sistemas operativos móveis e a existência de canais de distribuição de aplicações móveis (*e.g.* lojas *online* de aplicações) facilita a criação e posterior disseminação, de novas aplicações móveis. Por último, ao incluir os cidadãos em tarefas de sensoriamento é possível ter um maior impacte na sua qualidade de vida, tanto a nível individual como comunitário (Christin *et al.*, 2011).

2.4.3. Escalas de sensoriamento móvel

O sensoriamento móvel permite a implementação de aplicações em três escalas diferentes: **pessoal** (ou individual), **grupo** e **comunidade** (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Caracterização das diferentes escalas de sensoriamento móvel (Lane *et al.*, 2010)

Escala de sensoriamento móvel	Características
Pessoal	Vocacionadas para uma utilização individual, ou seja, a recolha de dados ocorre ao nível do cidadão. Os dados resultantes são habitualmente utilizados unicamente pelo utilizador, não estando patente um objetivo de partilha.
Grupo	Têm como alvo um conjunto de indivíduos que partilham um objetivo, interesse ou preocupação comum. Desta forma, os dados recolhidos são partilhados dentro do grupo, estando presente um ambiente de confiança entre os participantes.
Comunidade	Refletem a recolha, análise e partilha de dados em grande escala, o que implica a necessidade da participação de um grande número de utilizadores e a existência de um ambiente de baixa confiança. Como tal, os requisitos de proteção de privacidade nesta escala são maiores.

2.4.4. Classes de sensoriamento móvel

O nível de envolvimento do utilizador no sistema de sensoriamento permite agrupar os diversos sistemas em duas classes: sensoriamento oportunístico e sensoriamento participativo. Ambas as classes apresentam vantagens e desvantagens (Lane *et al.*, 2010).

No **sensoriamento oportunístico** o utilizador participa de forma passiva, ou seja, não há envolvimento direto do utilizador, sendo a recolha de dados completamente automática. Esta forma de sensoriamento tem como benefício diminuir o encargo colocado sobre o utilizador (Lane *et al.*, 2010). Ele pode inclusive não se aperceber quando é que a aplicação de sensoriamento está ativa, uma vez que a sua ativação dá-se sempre que a localização geográfica do equipamento corresponda aos requisitos da aplicação (Lane *et al.*, 2008). No entanto este tipo de sensoriamento apresenta algumas desvantagens, como a subutilização de recursos materiais e humanos, bem como dificuldade em determinar o contexto do *smartphone* (e.g. caso apenas interesse recolher uma amostra quando o equipamento se encontre na mão do utilizador) (Lane *et al.*, 2010).

Quanto ao **sensoriamento participativo**, o utilizador participa de forma ativa estando envolvido diretamente na recolha de dados. Ele decide como, quando e que dados são efetivamente recolhidos. Esta participação mais ativa permite aproveitar de forma eficiente os recursos humanos, possibilitando a recolha de dados num contexto correto. Não obstante, um maior envolvimento implica um grande custo para o utilizador, nomeadamente quanto ao tempo empregado em tarefas de sensoriamento. Outra desvantagem prende-se com a qualidade dos dados, que está dependente do modo como eles são recolhidos pelo utilizador (Lane *et al.*, 2010).

Estas duas classes representam assim extremos quanto ao *design* de sistemas de sensoriamento. Na Tabela 2.6 são apresentadas as principais diferenças entre elas, relativamente aos principais aspetos de um sistema de sensoriamento móvel.

Tabela 2.6 - Diferenças entre sensoriamento oportunístico e sensoriamento participativo (Adaptado de Stevens, 2012)

Sensoriamento oportunístico	Sensoriamento participativo
Requer um baixo envolvimento do utilizador	Requer um elevado envolvimento do utilizador, sendo necessário que este dispense o seu tempo e esforço.
A aplicação possui grande transparência, pois o seu funcionamento é praticamente impercetível.	A aplicação possui baixa transparência, podendo o seu funcionamento afetar a normal utilização do <i>smartphone</i> .
Podem existir preocupações quanto à privacidade, pois o utilizador não controla a recolha de dados.	Preocupações quanto à privacidade são quase inexistentes pois o utilizador tem o total controlo sobre a recolha de dados.
O recrutamento e retenção de utilizadores é facilitado pelo baixo esforço nele imposto.	O recrutamento e retenção de utilizadores constitui um desafio devido ao esforço necessário por parte dos utilizadores.

Estas duas abordagens não são aplicadas necessariamente de modo exclusivo, sendo inclusive consideradas como complementares por alguns autores (Lane *et al.*, 2008). Esta opinião demonstra que ambas as classes podem ser utilizadas de forma conjunta, resultando num sistema de sensoriamento híbrido que conjuga os pontos fortes de cada tipo de sensoriamento.

2.4.5. Modelo de sistema de sensoriamento móvel

O sensoriamento móvel é uma área de pesquisa já consolidada, razão pela qual é possível definir uma estrutura comum à grande maioria dos sistemas desta forma de sensoriamento (Figura 2.14). Esta estrutura engloba os diversos *stakeholders* envolvidos, assim como os diferentes componentes que constituem o sistema propriamente dito (Christin *et al.*, 2011).

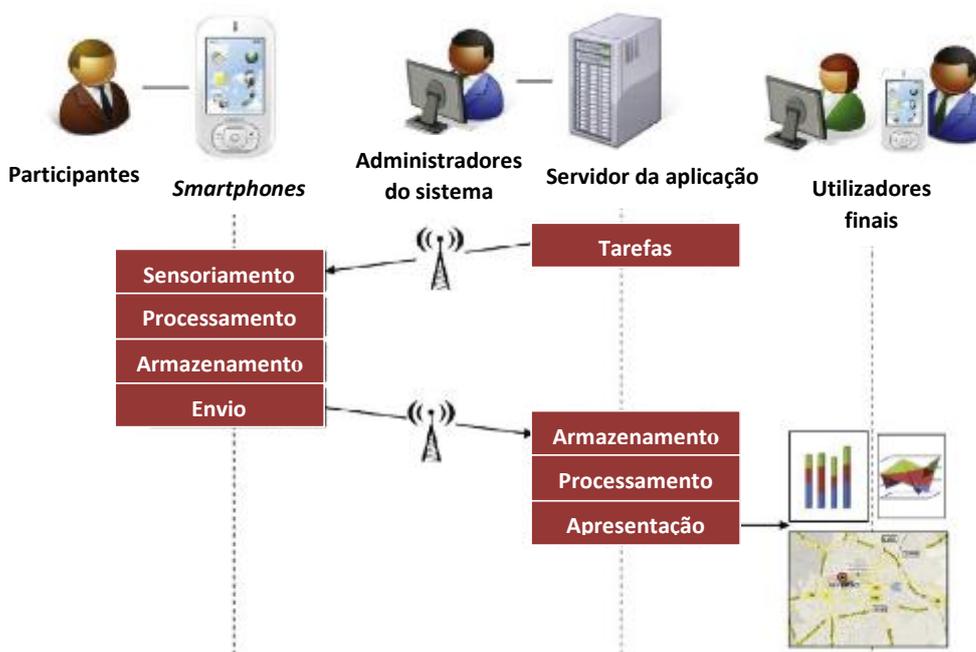


Figura 2.14 - Esquema de um sistema de sensoriamento móvel (Adaptado de Christin *et al.*, 2011)

Os *stakeholders* podem ser englobados em três grupos: participantes, administradores do sistema e utilizadores finais. Os **participantes** instalam a aplicação incluída no sistema e contribuem de forma voluntária através da recolha de dados, utilizando para tal os seus *smartphones*. Os **administradores do sistema** incluem membros da organização, grupos de pesquisa ou indivíduos, sendo os responsáveis pela implementação, gestão e manutenção de todo o sistema.

Por fim, os **utilizadores finais** acedem e consultam os dados recolhidos no âmbito do sistema, de acordo com os seus objetivos. Neste grupo estão incluídos os primeiros dois grupos de *stakeholders*, isto é, os participantes (que podem pretender consultar os dados recolhidos) e os administradores do sistema (para verificar e avaliar as contribuições realizadas). Incluem-se ainda, neste grupo, cientistas, decisores políticos e público em geral (Christin *et al.*, 2011).

Um sistema de sensoriamento móvel funciona tipicamente de modo centralizado, isto é, os dados são recolhidos pelos *smartphones* dos voluntários e posteriormente enviados para um servidor central, onde são processados e apresentados ao utilizador final. Deste modo, os diversos componentes do sistema estão organizados de acordo com uma arquitetura cliente – servidor. É possível definir seis componentes distintos do sistema (Christin *et al.*, 2011).

A **componente sensoriamento** está localizada no *smartphone* dos participantes e é responsável pela recolha dos diferentes tipos de dados, provenientes dos sensores (e.g. hora, localização, imagens, amostras de som, entre outros). Esta recolha pode ser desencadeada de forma manual, automática ou com base no contexto do *smartphone* (quando se verificam condições pré-definidas relativamente ao ambiente circundante do equipamento). Estes modos de recolha de dados correspondem a diferentes classes de sensoriamento móvel. A recolha manual de dados está inserida na classe de sensoriamento participativo, enquanto as formas de recolha automática e com base no contexto do *smartphone* inserem-se na classe de sensoriamento oportunístico (Christin *et al.*, 2011).

A **componente tarefas** funciona como apoio da componente anterior, sendo responsável pela distribuição das tarefas de sensoriamento. Nestas tarefas são especificadas as condições de recolha de dados, bem como o modo de sensoriamento, os critérios a verificar, sensores utilizados e qual a frequência de amostragem necessária (Christin *et al.*, 2011).

A **componente envio** assegura a transmissão dos dados recolhidos para o servidor da aplicação, através das infraestruturas de comunicação disponíveis no *smartphone* do participante. A **componente armazenamento**, tal como a designação indica, garante o armazenamento dos dados e está presente tanto no *smartphone* como no servidor da aplicação. No primeiro ocorre a gestão do armazenamento a curto-prazo (para possível processamento local e posterior envio) e no segundo é realizada a gestão do armazenamento a longo-prazo (em formato de base de dados) (Christin *et al.*, 2011). A **componente processamento** é responsável pela análise dos dados em bruto e pela extração de características de

interesse para o sistema em questão. Este processamento pode decorrer a nível local, no *smartphone*, e/ou no servidor da aplicação.

Por último, a **componente apresentação** tem como finalidade exibir ao utilizador final os resultados obtidos na componente anterior. A apresentação pode tomar diversas formas (e.g. gráficos, mapas ou sobreposições geográficas), que podem ser visualizados no *smartphone* ou através de um portal *Web* associado ao sistema. Os dados podem ainda ser disponibilizados no formato pré-processamento, para que os utilizadores finais possam realizar a sua própria análise (Christin *et al.*, 2011).

2.4.6. Desafios inerentes ao sensoriamento móvel

A implementação de um sistema de sensoriamento móvel implica ultrapassar alguns desafios inerentes ao seu funcionamento. As principais dificuldades são: o recrutamento e retenção de utilizadores, a colaboração e coordenação, a qualidade dos dados e a proteção da privacidade (Stevens, 2012).

Recrutamento e retenção de utilizadores

Conseguir atrair e reter um número suficiente de utilizadores é um factor essencial para o sucesso de qualquer sistema de sensoriamento móvel. Esta condição assume maior importância no sensoriamento participativo, pois este requerer um maior esforço por parte do utilizador.

Deste modo, para otimizar todo o processo é importante compreender alguns aspetos. Nomeadamente quais serão as motivações dos utilizadores para contribuir, tanto inicialmente como de forma contínua e como se pode desenvolver a confiança entre os diferentes utilizadores (Pedersen *et al.*, 2013).

As **motivações** podem ser agrupadas em duas grandes categorias: **motivações extrínsecas** e **motivações intrínsecas**. A primeira categoria diz respeito à obtenção de benefícios tangíveis para o utilizador em troca da sua participação, tais como incentivos monetários. A segunda categoria corresponde à obtenção de recompensas intangíveis, como a satisfação de interesses pessoais, divertimento ou reconhecimento social (Pedersen *et al.*, 2013). A importância que cada categoria poderá ter junto dos utilizadores está dependente de diversos fatores, como o domínio em que se insere o sistema de monitorização e os contextos social, político, cultural e tecnológico da sociedade (Budhathoki, 2010).

Existem contudo outras classificações para as motivações dos utilizadores; exemplo disso é o modelo de participação em movimentos sociais de Klandermans, que propõe uma divisão em três categorias, são elas: motivações coletivas, motivos sociais e motivos de recompensa. Esta última categoria subdivide-se em recompensas intrínsecas e extrínsecas (Nov *et al.*, 2013).

Relativamente aos **incentivos** existem diversos esquemas para promover a participação em sistemas de sensoriamento móvel, cuja aplicação já foi estudada. Estas recompensas têm como objetivo

envolver um maior número de utilizadores, promovendo o seu bom desempenho e consequentemente a produção de resultados com qualidade (Omokaro, 2012).

Omokaro (2012) propõe a classificação dos diferentes mecanismos de incentivo em três categorias: **ganho pessoal, ganho monetário e reconhecimento social**. Na primeira categoria o utilizador tem como incentivo a satisfação do seu interesse pessoal, que pode resultar de uma preocupação moral com o problema em estudo, ou do seu sentido de obrigação em contribuir para a melhoria do bem-estar da comunidade. Na segunda categoria os utilizadores recebem um micro-pagamento por cada contribuição de dados realizada para o sistema.

Estes pagamentos podem ser dados sob a forma de numerário, créditos (moeda virtual) ou donativos realizados em nome do utilizador. Na última categoria, os utilizadores obtêm reconhecimento dentro de uma comunidade em troca da sua participação no sistema. Este reconhecimento pode passar pelo recebimento de troféus digitais por ter sido atingido um determinado objetivo (e.g. no caso de as tarefas de sensoriamento estarem incluídas num jogo *online*), ou pelo recebimento de mensagens de reforço em redes sociais (Omokaro, 2012).

Qualidade dos dados

Para que os dados recolhidos por cidadãos tenham utilidade é importante garantir a sua qualidade, isto é, assegurar que são credíveis e precisos. Como tal, é necessário ter em atenção a vertente humana, relacionada com o comportamento dos cidadãos, bem como a vertente técnica, relacionada com o *hardware* incorporado nos *smartphones* (Stevens, 2012).

Para lidar com a **vertente humana** é essencial incluir no sistema ferramentas e metodologias de apoio aos cidadãos, na recolha de dados com maior qualidade. Uma estratégia a adotar é a disponibilização de materiais de treino, com o objetivo de educar os cidadãos sobre os principais aspetos da monitorização ambiental. Os materiais de treino podem consistir, por exemplo, em instruções para o uso correto da aplicação de sensoriamento, promovendo assim métodos normalizados de recolha de dados (Gouveia *et al.*, 2004).

Quanto à **vertente técnica** é necessário ter em consideração que os sensores incorporados nos *smartphones* são menos precisos do que os incluídos em equipamentos especializados, utilizados por profissionais. A precisão de um dos principais sensores de um sistema de monitorização, o GPS, pode ser afetada por diversos fatores. A localização fornecida por este sensor pode ser imprecisa em resultado de condições atmosféricas desfavoráveis ou erros na estimativa de órbita do satélite (Manweiler *et al.*, 2012). Importa ainda referir que a versão pública deste sistema de posicionamento tem uma precisão máxima de cinco metros e que este sensor revela ser menos preciso quando utilizado em áreas urbanas. No entanto, a precisão do sensor GPS não é igual em todos os *smartphones*, dado possuírem diferentes capacidades de processamento e diferenças quanto aos componentes de *hardware* incorporados (Hess *et al.*, 2012).

Para lidar com estas limitações técnicas é importante executar testes de calibração com equipamentos mais precisos, de modo a quantificar a margem de erro inerente aos dados recolhidos. Ao envolver um grande número de utilizadores obtém-se igualmente uma grande quantidade de dados, o que permite aplicar técnicas estatísticas (e.g. interpolação ou cálculo de médias) para a minimizar erros devido a dados incorretos (Stevens, 2012).

Privacidade

É importante que todos os sistemas de sensoriamento tenham como princípio proteger a privacidade dos utilizadores. A noção de privacidade da informação surgiu como consequência do risco dos equipamentos de comunicação recolherem informação pessoal sobre os seus utilizadores (Lane *et al.*, 2010).

Devido às especificidades do sensoriamento móvel, alguns autores sentiram a necessidade de criar um conceito de privacidade adaptado a este tipo de sistemas. Definem então **privacidade** como a garantia de que os participantes controlam a divulgação da sua informação privada/pessoal. Este controlo aplica-se à proteção da informação obtida a partir de dados de sensoriamento e da interação dos utilizadores com o sistema (Christin *et al.*, 2011).

Desta forma considera-se importante que os utilizadores detenham controlo sobre os dados captados através do seu *smartphone*, bem como em relação à sua posterior divulgação a terceiros. Isto é, os utilizadores devem poder regular o grau de detalhe dos dados recolhidos, a informação relativa ao contexto espaciotemporal que é acoplada e quais os seus destinatários. No entanto, a perceção de privacidade pelos cidadãos possui alguma subjetividade devido à influência exercida pelas diferenças socioculturais e contextuais existentes na conceção individual de sensibilidade dos dados (Christin *et al.*, 2011).

Uma vez que a recolha de dados num sistema de sensoriamento móvel implica a recolha de informação sobre os utilizadores a nível pessoal, existem ameaças inerentes à sua privacidade. A generalidade das aplicações de sensoriamento recolhe informação quanto à hora e local geográfico da recolha, pelo que a divulgação deste tipo de informação constitui a ameaça com maior impacte na segurança dos utilizadores. Por esta razão está presente um risco de divulgação de informações de carácter privado (e.g. localização da habitação e do local de trabalho dos utilizadores). Esta ameaça constitui um problema inerente a qualquer sistema de sensoriamento móvel, pois a recolha de informação sobre o contexto socio-temporal dos utilizadores é crucial para a análise dos dados (Christin *et al.*, 2011).

Por esta razão torna-se importante implementar mecanismos de proteção da privacidade dos utilizadores: um exemplo traduz-se na possibilidade de configuração manual das preferências de privacidade do utilizador na aplicação móvel. Este método representa um mecanismo implementado localmente, que permite ao utilizador controlar o tipo de informação que é efetivamente recolhida.

Quanto ao envio dos dados para o servidor central, os mecanismos de proteção podem passar pela utilização de pseudónimos para a transmissão de informação. Desta forma a verdadeira identidade dos utilizadores e a sua localização são protegidas (Christin *et al.*, 2011).

2.5. Participação pública

Os problemas ambientais caracterizam-se por serem complexos, incertos, abrangerem múltiplas dimensões e afetarem múltiplos indivíduos e entidades. Como tal, para a sua resolução é importante existir um processo de tomada de decisão transparente, que conjugue diferentes conhecimentos, competências e valores (Reed, 2008). Em resultado desta constatação, assistiu-se a um aumento da consciência ambiental por parte da população na segunda metade do século XX (Conrad e Daoust, 2008), o que desencadeou uma nova abordagem no que respeita à gestão ambiental. Esta nova visão traduziu-se num maior grau de envolvimento do cidadão em processos de tomada de decisão ambiental e é considerado cada vez mais como sendo um direito democrático.

Com a Convenção de Aarhus, ratificada pelo Decreto do Presidente da República n.º 9/2003 de 25 de Fevereiro, ficou estabelecido que uma maior participação e sensibilização dos cidadãos face às questões ambientais permite atingir um desenvolvimento sustentável. Esta Convenção defende os direitos dos cidadãos no que respeita ao acesso à informação, à participação do público e ao acesso à justiça no domínio do ambiente (APA, 2013).

A inclusão do cidadão no processo de tomada de decisão implica desta forma uma redistribuição do poder, o que permite ao cidadão influenciar o resultado do processo participativo (Arnstein, 1969). No entanto, o grau de envolvimento adequado dos cidadãos varia de acordo com a sua capacidade de influenciar os resultados e com os objetivos do processo (Reed, 2008). Arnstein (1969) definiu oito níveis de participação do cidadão, que correspondem a graus crescentes de envolvimento nos processos de tomada de decisão (Figura 2.15). A esta classificação o autor atribuiu a designação de “Escada de Participação”.

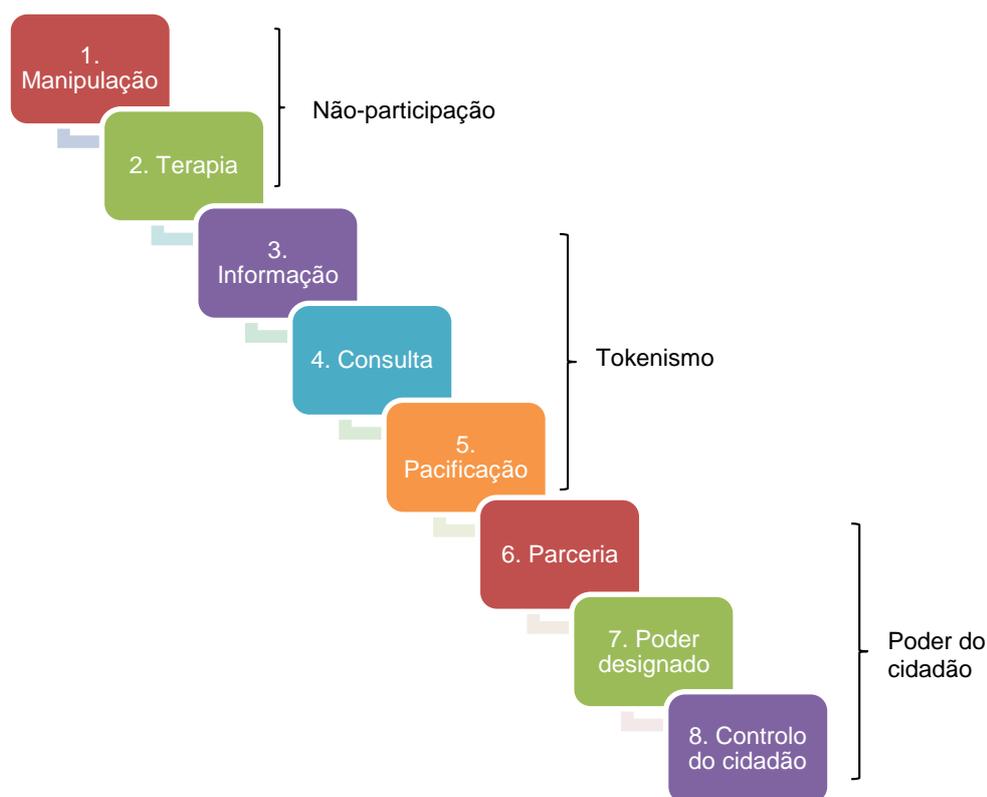


Figura 2.15 - Escada de participação de Arnstein (Adaptado de Arnstein, 1969)

Surgiram mais tarde outras tipologias de classificação de níveis de participação, tendo por base a “Escada de participação” de Arnstein. Algumas destas tipologias apresentam termos alternativos para os diversos “degraus” da escada, enquanto outras apresentam uma classificação mais simplificada dos diversos níveis de participação. Em resumo, as múltiplas tipologias existentes tentam fazer uma distinção entre os vários métodos e abordagens de participação disponíveis, sempre com o objetivo de constituir uma base para a seleção do método de participação mais adequado em cada processo (Reed, 2008).

Uma vez que a participação pública é aplicada em diversos contextos e a sua compreensão difere entre as diferentes partes envolvidas, não existe uma definição aceite de modo unânime. Todavia, de um modo geral, podemos afirmar que a participação pública consiste num processo cujo objetivo é envolver na tomada de decisão todos os indivíduos que por ela são afetados, promovendo o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Este resultado é possível por ser proporcionado aos intervenientes no processo, a informação necessária para que o seu envolvimento seja significativo. Acrescente-se ainda que é comunicado aos participantes o impacto que o seu envolvimento teve na decisão final (IAP2, 2013). Deste modo podemos afirmar que um processo participativo bem-sucedido tem como resultados aprendizagem social e a definição de soluções adequadas (Luyet et al., 2012).

No âmbito da participação pública é importante fazer a distinção entre o envolvimento do público e a participação de *stakeholders*. Habitualmente, é considerado como **público** um conjunto de indivíduos

geralmente desestruturado e desorganizado. Pelo contrário, **stakeholder** pode ser definido como um grupo organizado de indivíduos que partilham um interesse comum (Luyet *et al.*, 2012).

Apesar da importância da participação pública na gestão ambiental, este processo apresenta vantagens e desvantagens (Tabela 2.7). Estes aspetos devem ser tidos em conta para que possa existir uma otimização do processo, melhorando a sua qualidade e consequentemente a qualidade da decisão final (Luyet *et al.*, 2012).

Tabela 2.7 - Vantagens e desvantagens da participação pública (Adaptado de Luyet *et al.*, 2012)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Maior confiança nas decisões;• Melhoria do <i>design</i> do projecto, recorrendo ao conhecimento local;• Melhor compreensão dos aspectos relacionados com o projecto;• Otimização da implementação de projectos, planos e políticas;• Aceitação pública das decisões;• Fomentar a aprendizagem social.	<ul style="list-style-type: none">• Processo moroso e dispendioso;• Potencial frustração dos participantes;• Identificação de novos conflitos;• Envolvimento de participantes que não são representativos;• Fortalecimento de um participante já considerado importante.

Na literatura são ainda identificados os princípios que devem ser adotados para que um processo de participação pública seja bem-sucedido (Luyet *et al.*, 2012):

- O processo deve ser justo e transparente;
- Deve promover a equidade, a confiança e o respeito entre os participantes e as entidades governamentais;
- Deve existir a integração dos conhecimentos local e científico;
- Devem ser estabelecidas regras antes do início do processo;
- O envolvimento dos participantes deve existir desde o início;
- Devem ser envolvidas todas as partes interessadas, ou seja, todos os *stakeholders*;
- Devem ser disponibilizados os recursos necessários.

3. Metodologia

Para a realização deste trabalho foi seguida uma metodologia que se dividiu em duas fases (Figura 3.1). Na primeira fase foi estabelecido o modelo de sistema de monitorização de ruído a propor e na segunda fase foi testada a monitorização do ruído mediante a utilização de um *smartphone*.

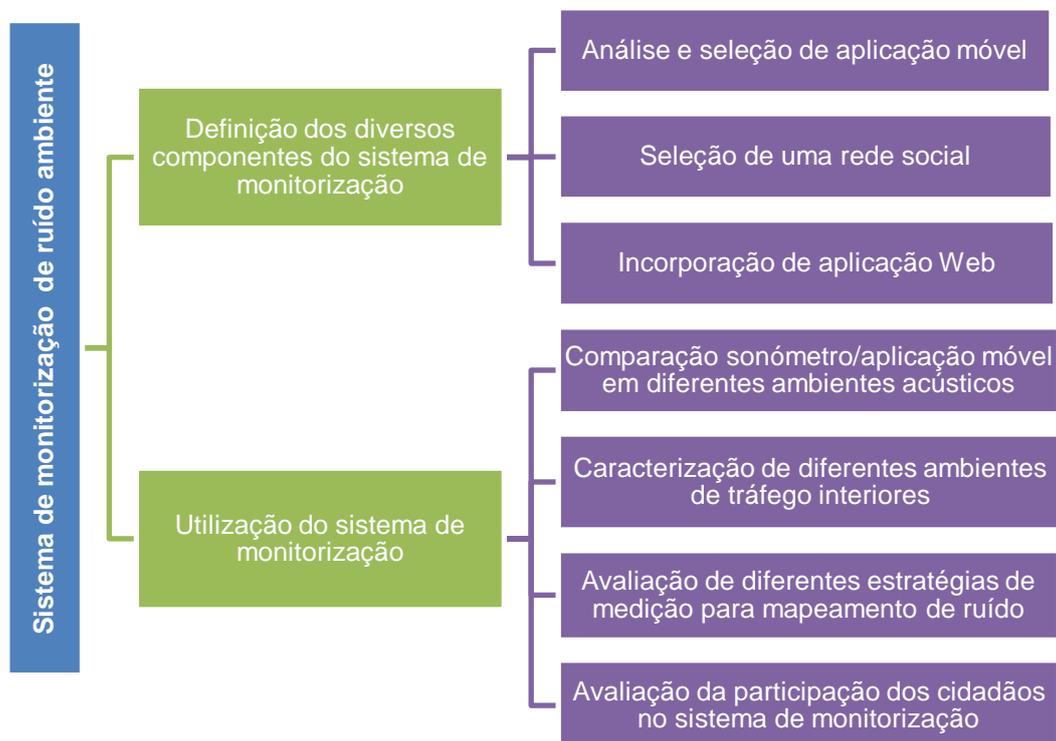


Figura 3.1 – Metodologia aplicada

3.1. Sistema de monitorização do ruído

3.1.1. Análise e seleção de aplicação móvel para medição de níveis de ruído

Uma vez que o desenvolvimento de uma aplicação móvel não se insere no âmbito deste trabalho de investigação, foi selecionada uma aplicação já existente para incorporação no sistema. Desta forma foi necessário executar uma pesquisa numa loja virtual que comercializa aplicações móveis.

Dado o *smartphone* a ser utilizado neste trabalho conter o sistema operativo *Android*, a pesquisa pela aplicação móvel foi realizada na loja *Google Play*. Apesar de a maioria dos fabricantes de *smartphones* possuírem igualmente uma loja de aplicações, a pesquisa foi efectuada exclusivamente na loja referida, por forma a ser possível aceder a uma maior gama de aplicações móveis.

Previamente à fase da pesquisa, foi necessário estabelecer quais os principais requisitos que uma aplicação móvel deve possuir para que seja possível a sua integração num sistema de monitorização participativa. Assim, foram definidos os seguintes requisitos:

1. Utilizar na medição de níveis sonoros o filtro de ponderação A, para que seja possível a comparação com medições oficiais;
2. Ter sido sujeita a procedimentos de calibração;
3. Permitir selecionar qual o tempo de medição pretendido, isto é, não deve existir um limite temporal fixo de medição;
4. Efetuar o registo das medições em formato digital, no *smartphone*;
5. Registrar todos os níveis de ruído medidos ao longo de um determinado período, não fornecendo somente um nível sonoro médio;
6. Associar os níveis de ruído a uma posição GPS, para possibilitar a sua visualização espacial na aplicação *Web*;
7. Ser gratuita, para que a sua aquisição não represente um custo monetário para o utilizador.

3.1.2. Página em rede social associada ao sistema de monitorização

Em Portugal, verifica-se uma significativa participação em redes sociais, de acordo com as estatísticas mais recentes do Eurostat. Englobando todas as idades, no ano de 2011, 32% dos indivíduos afirmaram participar em redes sociais (por participação são entendidas atividades como criação de perfis de utilizador, publicação de mensagens e outras contribuições). Esta percentagem aumenta quando se restringe a faixa etária dos indivíduos, sendo maior para idades compreendidas entre os 16 e os 24 anos (72%), entre os 25 e os 34 anos (50%) e entre os 35 e os 44 anos (37%) (Eurostat, 2013b).

Assim o sistema pode beneficiar da utilização deste meio de comunicação bastante popular e com o qual os cidadãos se encontram bastante familiarizados. Este facto contribui para a diminuição da barreira tecnológica, ou seja, para ultrapassar a potencial dificuldade que os utilizadores poderiam ter em lidar com esta ferramenta.

3.1.3. Aplicação Web para visualização de dados

Por forma a proporcionar alguma interatividade ao utilizador do sistema e permitir-lhe associar espacialmente níveis de exposição de ruído a zonas geográficas é importante incorporar no sistema uma aplicação *Web* para visualização de dados. Esta inclusão torna-se possível devido à componente de georreferenciação associada aos dados obtidos através da aplicação móvel. Foi assim desenvolvido um protótipo de aplicação *Web* com base no serviço *Google Maps*.

3.2. Utilização do sistema de monitorização

Por forma a testar a monitorização de ruído ambiente com recurso a um *smartphone* foram realizadas diversas medições, tanto estáticas como em movimento. As medições de níveis sonoros foram inseridas em três vertentes, uma de comparação entre um sonómetro profissional e a aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos, outra de caracterização de diferentes ambientes acústicos e, por último, uma referente ao mapeamento de ruído.

A primeira vertente teve como objetivo a comparação entre os dados obtidos com a aplicação móvel e os dados obtidos com um sonómetro profissional. A segunda teve como finalidade testar a aplicação móvel, no âmbito da caracterização de diversos ambientes acústicos. Por fim, a última vertente teve como objetivo testar a capacidade da aplicação móvel para produzir mapas de ruído, através das suas medições. Em todos os ensaios realizados o parâmetro de avaliação utilizado foi o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}), tendo sido obtidas séries de valores com intervalos de um segundo.

Com o intuito de avaliar a potencial participação dos cidadãos ao sistema de monitorização em estudo, foram ainda realizados inquéritos junto da população.

3.2.1. Comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos

A avaliação desta vertente teve como finalidade a comparação entre medições realizadas com a aplicação móvel e medições realizadas com um sonómetro profissional em diferentes ambientes acústicos exteriores, associados a ambiente urbano. Nestes ensaios foram utilizados a aplicação móvel *NoiseTube*, instalada num *smartphone* da marca HTC e modelo *Explorer* e um sonómetro profissional da marca Brüel & Kjær e modelo 2260 *Investigator* devidamente certificado e calibrado (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Sonómetro Brüel & Kjær 2260 Investigator (à esquerda) e smartphone HTC Explorer (à direita)
(Google Images, 2013)

Foram avaliados cinco ambientes acústicos diferentes, nomeadamente o ruído ambiente e o ruído associado a quatro tipos de tráfego (rodoviário, ferroviário, aéreo e fluvial) (Figura 3.3).

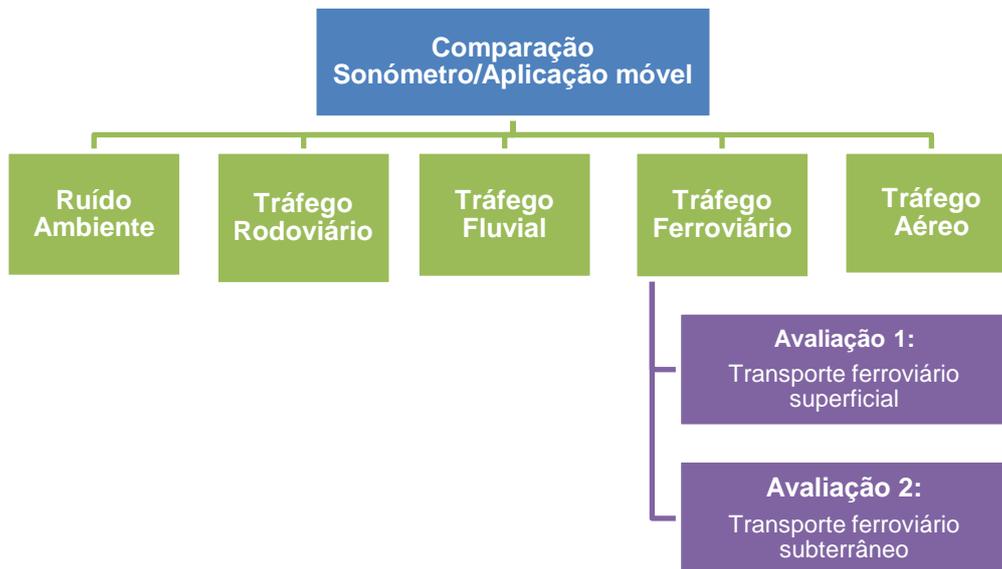


Figura 3.3 - Esquema de avaliação da comparação entre um sonómetro profissional e a aplicação móvel

Por forma a avaliar o grau de fiabilidade entre o sonómetro profissional e a aplicação móvel, realizou-se uma análise estatística às séries de dados resultantes de ambos os equipamentos. Tal análise traduziu-se na aplicação de um modelo de regressão linear simples às séries de dados. Para analisar a qualidade do ajustamento do referido modelo aos dados, recorreu-se à avaliação do coeficiente de determinação e à realização de um teste de significância do modelo de regressão linear. Neste teste assumiram-se as hipóteses H_0 e H_1 , onde:

- H_0 : as variáveis X e Y são independentes;
- H_1 : as variáveis X e Y são dependentes;
- Assumiu-se um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$).
- Se $p\text{-value} \geq \alpha$, aceita-se H_0 e as variáveis são independentes, não sendo o modelo estatisticamente significativo;
- Se $p\text{-value} < \alpha$, aceita-se H_1 e as variáveis são dependentes, sendo o modelo estatisticamente significativo.

Ruído Ambiente

A avaliação deste ambiente acústico consistiu na realização de dois conjuntos de medições, cada um durante um período contínuo de uma hora, junto a uma rodovia, no centro da cidade de Lisboa. Os critérios para a seleção do local de medição foram a existência de um grande volume de tráfego e a deteção anterior de níveis de ruído excessivos. Assim o local escolhido foi a Avenida Fontes Pereira de Melo, a qual foi já identificada como um dos pontos críticos de exposição ao ruído de tráfego (Quercus, 2013).

As medições foram conduzidas num ponto central da avenida citada, no dia 21 de Maio de 2013, das 17:34h às 18:34h e das 19:45h às 20:45h. Em ambos os ensaios o sonómetro e o *smartphone* foram colocados a um metro da faixa de rodagem e a uma altura de um metro acima do solo.

Tráfego rodoviário

Na avaliação deste tipo de tráfego foram realizados dois conjuntos de medições, cada um com uma duração de 15 minutos, junto a uma paragem no centro da cidade de Lisboa. Os critérios para a seleção do local de medição foram a existência de um volume de tráfego significativo e a passagem de ambos os tipos de veículos em estudo. A paragem selecionada situa-se na Praça do Comércio.

As medições tiveram lugar no dia 17 de Junho de 2013, das 15:53h às 16:08h e das 17:08h às 17:23h. Em ambas as medições, o sonómetro e o *smartphone* foram colocados a um metro da faixa de rodagem e a uma altura de um metro acima do solo. Durante cada período de medição foi registada a passagem de autocarros e elétricos, desta forma foi contabilizado o tempo decorrido entre a chegada do veículo à paragem e o seu arranque.

Tráfego ferroviário

Relativamente ao tráfego ferroviário foram realizadas duas avaliações, uma referente a tráfego superficial (comboio) e outra alusiva a tráfego subterrâneo (metropolitano). Quanto à primeira avaliação foram efetuados dois conjuntos de medições, cada um com uma duração de 15 minutos, numa estação de comboio na cidade de Lisboa. Os critérios para a seleção do local de medição foram a existência de um volume de tráfego significativo, isto é, o facto de ser uma estação central e não constituir ponto terminal de nenhum itinerário. A estação selecionada foi Sete-Rios.

As medições foram conduzidas num ponto central da estação referida, no dia 18 de Julho de 2013, das 16:16h às 16:31h e das 17:05h às 17:20h. Em ambas as medições, o sonómetro e o *smartphone* foram colocados a uma altura de um metro acima do solo. Durante cada período de medição foi registada a passagem de comboios, deste modo foi contabilizado o tempo decorrido entre a passagem do comboio pelo início da plataforma de embarque e pelo fim da plataforma.

Quanto à segunda avaliação foram igualmente realizados dois conjuntos de medições, cada um durante um período de 15 minutos, numa estação de metropolitano na cidade de Lisboa. A estação selecionada situa-se na Alameda e pertence à Linha Verde do Metropolitano de Lisboa. As medições realizaram-se no dia 5 de Junho de 2013, das 16:14h às 16:29h e das 18:26h às 18:41h. Em ambas as medições, o sonómetro e o *smartphone* foram colocados a dois metros do limite da plataforma de embarque e a uma altura de 1 metro acima do solo. Durante cada período de medição foi registada a passagem de metropolitanos, tendo sido contabilizado o tempo decorrido entre a passagem do metropolitano pelo início da plataforma de embarque e pelo fim da plataforma.

Tráfego fluvial

Acerca deste tipo de tráfego foram realizados dois conjuntos de medições, na plataforma de embarque situada em Cacilhas.

As medições concretizaram-se no dia 19 de Junho de 2013, das 8:52h às 9:02h e das 11:38h às 11:47h e em ambas o sonómetro e o *smartphone* foram colocados a uma altura de um metro acima do solo. Para cada conjunto de medições foram medidos os níveis sonoros desde a chegada da embarcação até à sua partida, o que foi considerado um evento. Desta forma em cada medição foi registado um único evento.

Tráfego aéreo

Nesta avaliação foram realizados dois conjuntos de medições, cada um durante com uma duração de 15 minutos na cidade de Lisboa. Os critérios para a seleção do local de medição foram a proximidade com o aeroporto da Portela, a minimização da influência de ruído gerado por outros tipos de tráfego e a deteção anterior de níveis de ruído excessivos.

O local selecionado foi a Alameda da Universidade (Cidade Universitária), devido à sua proximidade com o aeroporto e com a zona do Campo Grande. Neste local foi já identificada a existência de níveis de ruído excessivos, devido à passagem de aeronaves (FCT/UNL, 2013).

As medições decorreram no dia 23 de Junho de 2013, das 18:09h às 18:24h e das 18:25h às 18:40h. Em ambas as medições, o sonómetro e o *smartphone* foram colocados a uma altura de um metro acima do solo. Em cada período de medição foi registada a passagem de aeronaves.

3.2.2. Caracterização de diferentes ambientes de tráfego interiores

A avaliação desta vertente teve como finalidade caracterizar a exposição do cidadão aos diferentes ambientes acústicos existentes no interior de meios de transporte, em deslocações em transporte individual ou coletivo. Todas as medições realizadas no âmbito desta vertente foram realizadas com recurso a um *smartphone* da marca HTC e modelo *Explorer*.

Nesta vertente foram avaliados três tipos de tráfego: rodoviário, ferroviário e fluvial (Figura 3.4). Quanto ao tráfego rodoviário foram realizadas três avaliações, uma relativa a um meio de transporte individual (automóvel) e duas relativas a meios de transporte coletivo (autocarro e elétrico). No que respeita ao tráfego ferroviário foram igualmente realizadas duas avaliações, relativas a dois modos de transporte ferroviário, uma para comboio (transporte ferroviário superficial) e outra para metropolitano (transporte ferroviário subterrâneo). Por último, no âmbito do tráfego fluvial foi realizada uma única avaliação.

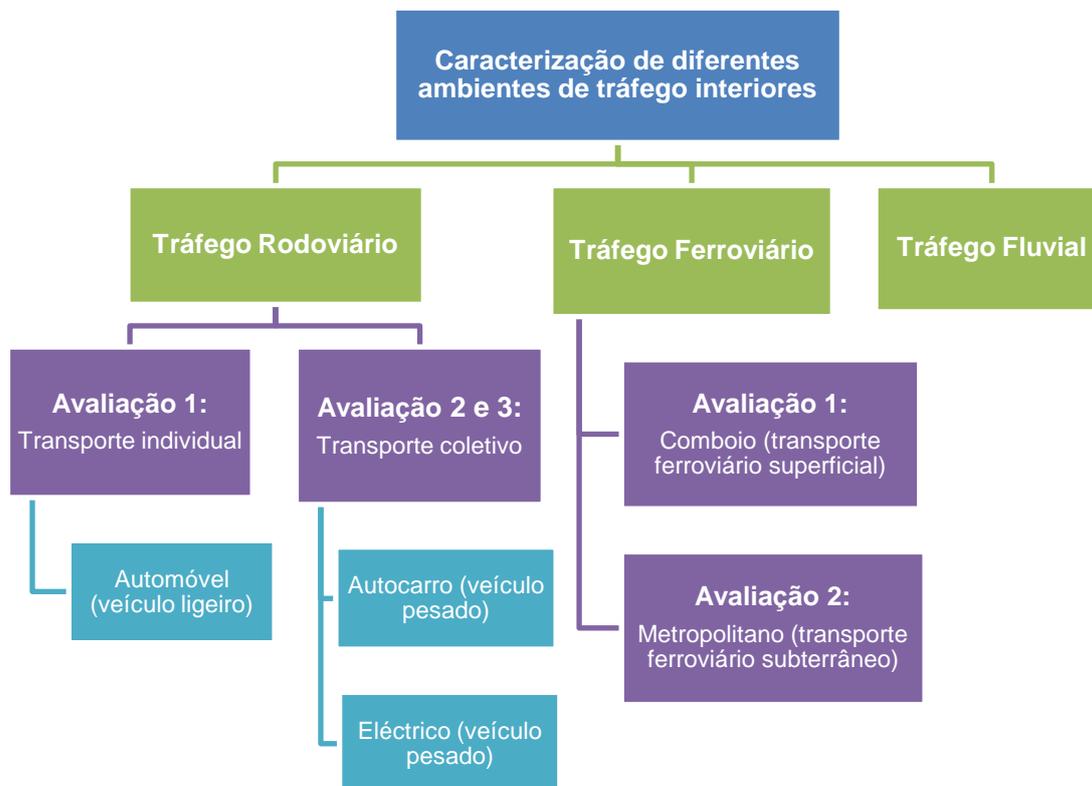


Figura 3.4 - Esquema de avaliação de exposição pessoal a ruído interior, proveniente de diferentes tipos de tráfego

Tráfego rodoviário

A primeira avaliação realizada no âmbito do tráfego rodoviário teve como objetivo caracterizar os níveis de ruído a que está exposto um cidadão, enquanto circula no interior do seu automóvel. Deste modo foram efetuadas medições, no interior de um veículo ligeiro, ao longo de um troço, no centro da cidade de Lisboa.

O percurso seleccionado foi Marquês de Pombal – Entrecampos, que inclui a Av. Fontes Pereira de Melo e a Av. da República. Foram realizados três conjuntos de medições, no dia 18 de Junho de 2013, no interior de um automóvel da marca *Volkswagen*, modelo *Golf*, com cilindrada 1900, que utiliza como combustível gasóleo. O *smartphone* foi mantido no lugar dianteiro adjacente ao do condutor, ao mesmo nível de altura do *tablier* do veículo. O primeiro conjunto de medições decorreu das 16:02h às 16:10h, com todos os vidros do veículo fechados. Os restantes conjuntos de medições foram realizados com os vidros da parte dianteira do veículo totalmente abertos e decorreram das 16:14h às 16:23h e das 17:27h às 17:38h.

A segunda avaliação teve como finalidade avaliar os níveis de ruído a que está exposto um cidadão, enquanto circula no interior de um autocarro (veículo pesado). Deste modo foram realizados dois conjuntos de medições, no interior de um autocarro, ao longo de um troço. Foi seleccionado o percurso entre o Centro Sul (Almada) e o Marquês de Pombal, que se insere na carreira nº 753 da Carris. As

medições decorreram no dia 2 de Julho de 2013, das 8:33h às 8:50h e das 12:34h às 12:47h. O *smartphone* foi transportado a uma altura de um metro, numa posição central do veículo.

A terceira avaliação teve como propósito avaliar os níveis de ruído a que está exposto um cidadão, enquanto circula no interior de um eléctrico articulado (veículo pesado). Assim sendo foram conduzidos dois conjuntos de medições no interior do veículo citado, ao longo de um troço. Foi selecionado o percurso entre Cais de Sodré e Belém, que se insere na carreira nº 15E da Carris. As medições decorreram no dia 26 de Junho de 2013, das 8:26h às 8:50h e das 11:02h às 12:22h. O *smartphone* foi transportado a uma altura de um metro, numa posição central do veículo.

Tráfego ferroviário

A primeira avaliação no contexto do tráfego ferroviário destinou-se a avaliar os níveis de ruído a que está exposto um cidadão, enquanto circula no interior de um comboio. Deste modo foram realizados dois conjuntos de medições, no interior de um comboio superficial, ao longo de um troço inserido na cidade de Lisboa.

Foi selecionado o percurso entre as estações Belém e Cais de Sodré, o qual se insere na Linha de Cascais da CP. As medições decorreram no dia 26 de Junho de 2013, das 9:02h às 9:09h e das 11:37h às 11:44h. O *smartphone* foi transportado a uma altura de um metro, numa posição central de uma das carruagens centrais do comboio.

A segunda avaliação teve como objetivo estimar os níveis de ruído a que está exposto um cidadão, enquanto circula no interior de um metropolitano (subterrâneo). Assim foram realizados dois conjuntos de medições, no interior de um metropolitano, ao longo de um troço inserido na rede da cidade de Lisboa. Foi selecionado o percurso entre as estações Alameda e Oriente (Parque das Nações), inserido na Linha Vermelha da Metro Lisboa. As medições decorreram no dia 20 de Junho de 2013, das 16:59h às 17:11h e das 18:09h às 18:20h. O *smartphone* foi transportado a uma altura de um metro, numa posição central de uma das carruagens centrais do metropolitano.

Tráfego fluvial

Esta avaliação destinou-se a aferir os níveis de ruído a que está exposto um cidadão, enquanto circula no interior de uma embarcação marítima. Desta forma foram executados dois conjuntos de medições, no interior de um navio pertencente à classe Cacilhense, ao longo do trajeto entre Cacilhas e Cais do Sodré.

As medições decorreram no dia 19 de Junho de 2013, das 9:05h às 9:20h e das 9:23h às 9:44h. O *smartphone* foi mantido a uma altura de um metro, numa posição central da embarcação.

3.2.3. Avaliação de diferentes estratégias de medição para mapeamento de ruído

A avaliação desta vertente teve como objetivo testar a potencialidade da aplicação para gerar mapas de ruído ou comparar com mapas existentes para áreas urbanas. Para tal foram realizadas duas avaliações: numa primeira fase foram efetuadas medições estáticas, com o intuito de testar diferentes parâmetros de medição, tanto temporais como espaciais (Figura 3.5); numa segunda fase foram realizadas medições em movimento enquanto eram percorridos trajetos aleatórios no interior de uma área urbana.



Figura 3.5 – Esquema de avaliação da vertente de mapeamento

No âmbito dos ensaios relativos a medições estáticas, foi selecionada uma área urbana representativa da cidade de Lisboa, a Praça do Rossio. De seguida, na área de medição, foram estabelecidos pontos de medição tendo em conta duas malhas espaciais diferentes, uma de 20 x 20 metros e outra de 50 x 50 metros (avaliação 1). Por forma a testar parâmetros temporais, foram utilizados dois períodos de medição diferentes, tendo sido executados conjuntos de medições de um e cinco minutos (avaliação 2). Estes ensaios decorreram no período da manhã durante os dias 25 e 26 de Junho de 2013.

Em todas as medições foi utilizado um *smartphone* da marca HTC e modelo *Explorer*. Das diversas medições obtiveram-se séries de valores de níveis sonoros contínuos equivalentes (L_{Aeq}), em intervalos de um segundo. Através da equação da média logarítmica foram determinados dois níveis sonoros contínuos equivalentes correspondentes a cada ponto de medição, um para cada período de medição em teste (um e cinco minutos). Como resultado obtiveram-se dois mapas de ruído para a área urbana em análise. Estes foram posteriormente comparados com a área correspondente, no mapa de ruído do Município de Lisboa.

Com os ensaios relativos a medições em movimento pretendeu-se avaliar a potencialidade da aplicação móvel para gerar mapas de ruído, com recurso a medições realizadas durante a circulação em meios urbanos. Desta forma foi selecionada uma área de um quilómetro quadrado, no centro da cidade de

Lisboa. Seguidamente foram realizadas medições em movimento à medida que eram percorridos trajetos aleatórios no interior da área urbana, tendo sido obtidos níveis sonoros contínuos equivalentes, em intervalos de um segundo. Este ensaio decorreu no dia 2 de Julho de 2013, entre as 8:59h e as 10:45h.

3.2.4. Avaliação da participação dos cidadãos no sistema de monitorização

A análise da participação dos cidadãos teve como princípio a realização de inquéritos, com o intuito de recolher informação quanto à propensão da população para participar na monitorização do ruído ambiente. Os inquiridos foram igualmente questionados relativamente à sua perceção no que respeita à importância da participação pública e ao ruído como um problema ambiental.

Face à limitação temporal associada à realização deste trabalho, não foi possível executar inquéritos a diferentes locais distribuídos pelo país. Deste modo não foi possível obter uma amostra representativa da população residente em Portugal. Assim, a estratégia definida passou pela seleção de pontos primordiais em centros urbanos, ou seja, locais onde se verifica uma grande movimentação de indivíduos.

Os inquéritos foram conduzidos pela autora nos dias 19 de Junho de 2013 na Praça do Rossio (Lisboa) e na Praça S. João Baptista (Almada), e a 20 de Junho de 2013 nas zonas do Saldanha (Lisboa) e Parque das Nações (Lisboa). Os inquéritos foram realizados por abordagem a cidadãos nos locais de amostragem selecionados.

O inquérito é composto por 16 questões e encontra-se repartido em cinco secções: (1) “Dados demográficos”; (2) “Perceção do ruído como problema ambiental”; (3) “Importância da participação pública”; (4) “Participação pública na monitorização do ruído” e (5) “Dados de caracterização”. A estrutura do inquérito pode ser consultada no Anexo 1.

Na secção (1) foram incluídas questões demográficas relativas aos inquiridos, tais como sexo, idade, habilitações literárias e áreas de residência e emprego.

Na secção (2) os inquiridos foram questionados quanto à sua perceção do ruído como problema ambiental, à influência que o ruído pode ter na sua saúde e aos níveis de exposição a ruído no seu quotidiano. A estas questões foi solicitado que os inquiridos respondessem através de uma escala de 1 a 5 (sendo 1 “Nada” e 5 “Muito”).

Na secção (3) foi solicitado aos inquiridos que através de uma escala de 1 a 5 (sendo 1 “Nada” e 5 “Muito”) classificassem a importância que atribuem à participação pública. Os inquiridos foram ainda questionados quanto ao seu envolvimento em projetos ambientais. De seguida foi pedido que classificassem a vantagem da participação do cidadão na monitorização ambiental, através de uma

escala de 1 a 5 (sendo 1 “Nada” e 5 “Muito”). Caso a classificação fosse igual ou superior a 2 era solicitado aos inquiridos que enumerassem as vantagens existentes.

Quanto à secção (4) foram colocadas questões quanto à predisposição dos inquiridos para se envolverem num esquema de monitorização de ruído e qual a sua motivação na hipótese de existir um incentivo em retorno da participação. A esta questão foi solicitado que os inquiridos atribuissem uma classificação numa escala de 1 a 5 (sendo 1 “Nada” e 5 “Muito”).

Por último, na secção (5) foram incluídas questões de caracterização, nomeadamente quanto à posse de um *smartphone* e à utilização frequente de aplicações móveis.

Tratamento estatístico

Após realização do inquérito, procedeu-se ao tratamento estatístico dos resultados obtidos. Primeiro concretizou-se a contagem e separação das respostas obtidas, com auxílio do *software Microsoft Excel 2010*. Através deste foram criadas tabelas e gráficos por forma a organizar os dados para posterior análise crítica.

Uma vez que a totalidade das questões do inquérito corresponde a classes nominais, a metodologia utilizada para a determinação da independência entre variáveis incidiu sobre o teste do Qui-Quadrado, com recurso à criação de tabelas de contingência.

Para o teste do Qui-Quadrado, assumiram-se as hipóteses H_0 e H_1 , onde:

- H_0 : as variáveis X e Y são independentes;
- H_1 : as variáveis X e Y são dependentes;
- Assumiu-se um nível de significância de 95% ($\alpha=0,05$).
- Se $p\text{-value} \geq \alpha$, aceita-se H_0 e as variáveis são independentes;
- Se $p\text{-value} < \alpha$, rejeita-se H_0 e as variáveis são dependentes.

O software utilizado para o tratamento dos dados relativos aos inquéritos foi o IBM SPSS™ Statistics 20.

4. Sistema participativo de monitorização do ruído

Neste capítulo pretende-se apresentar um sistema participativo de monitorização de ruído ambiente, com recurso a uma aplicação móvel de medição de níveis sonoros. O sistema apresentado tem como finalidade a disponibilização de dados provenientes de medições de ruído ambiente, em diversos cenários do quotidiano dos cidadãos.

4.1. Enquadramento

A participação ativa dos cidadãos e a existência de dados de monitorização sobre parâmetros ambientais são dois dos aspetos essenciais para uma boa gestão ambiental. Este princípio está na base no sistema de monitorização de ruído apresentado nesta dissertação. Pretende-se assim promover a angariação de dados em maior escala através do envolvimento dos cidadãos na recolha dos dados. Deste modo é possível estabelecer uma rede alargada de sensores móveis que irão contribuir para uma base de dados comum, de uma forma mais eficiente, face às tradicionais redes de receção de dados. Dadas as características deste tipo de sistema, ele insere-se na classe do sensoriamento participativo, uma vez que o cidadão participará de forma ativa, isto é, as medições não serão executadas de forma automática.

Este tipo de monitorização tem o potencial de se aplicar a diversos parâmetros ambientais, como água e ar, entre outros. Nesta dissertação apresenta-se uma estratégia para um sistema de sensoriamento participativo de ruído ambiente.

O objetivo é empregar um equipamento móvel que está presente no quotidiano de grande parte da população, na tarefa de medição de níveis sonoros, preferencialmente associados ao ruído ambiente. Pretende-se que o cidadão realize medições nas mais variadas atividades que constituem a sua rotina diária, como por exemplo, durante a sua deslocação para o emprego. Assim não é imposto um esforço adicional ao indivíduo, exigindo que as medições sejam realizadas em ambientes específicos.

No desenvolvimento deste sistema consideraram-se três componentes: uma aplicação móvel, uma página numa rede social e uma aplicação *Web* (Figura 4.1). A aplicação móvel está associada a um *smartphone*, para realizar medições de níveis de ruído; o segundo componente tem como objetivo promover a discussão em redor do tema; por último, a aplicação *Web*, com base no *Google Maps*, tem como objetivo a visualização dos níveis de ruído.

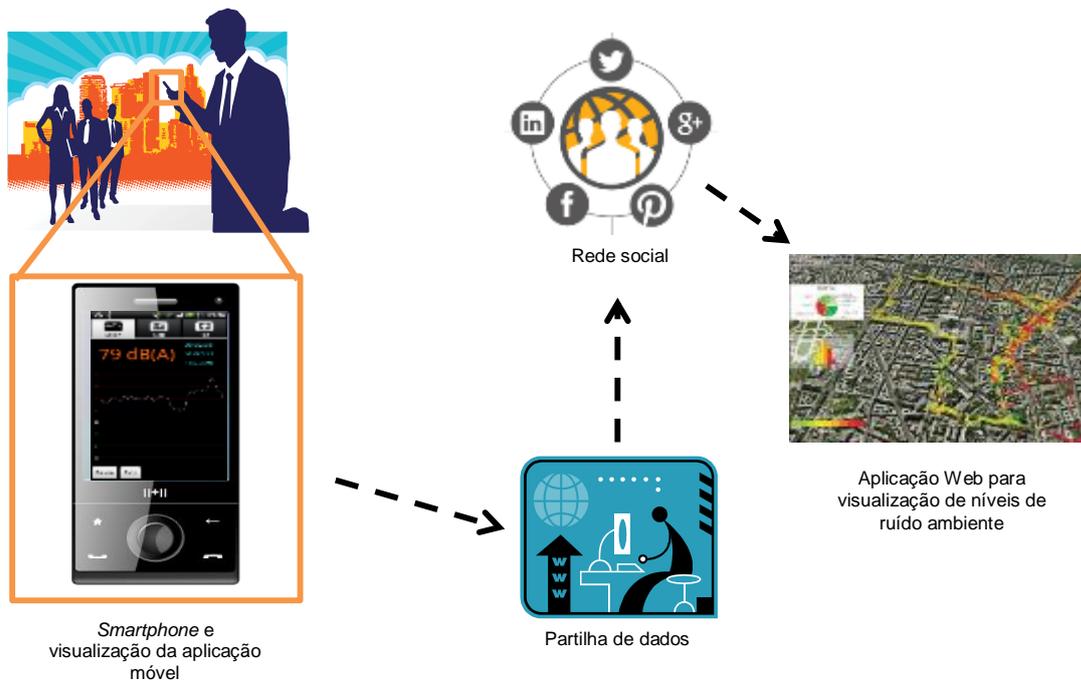


Figura 4.1 - Arquitetura do sistema de monitorização de ruído ambiente

4.2. Análise e seleção de aplicação móvel para medição de níveis de ruído

A utilização de um *smartphone* na medição de níveis de ruído não é de todo um conceito inovador, razão pela qual foram encontradas diversas aplicações móveis, na loja de aplicações *Google Play*. As aplicações encontradas variam quanto às funcionalidades disponibilizadas, à unidade de nível de ruído utilizada na medição e à precisão que asseguram. De seguida é apresentada uma revisão quanto às aplicações móveis para medição de ruído mais relevantes, consideradas no âmbito desta dissertação.

4.2.1. Decibelímetro (Sound Meter) – Versão 1.5

É uma aplicação gratuita, integrada num conjunto de aplicações intitulado *Smart Tools*, o qual incorpora diversas aplicações que compõem “ferramentas” virtuais (e.g. lanterna, bússola). Foi desenvolvida por um programador intitulado *Android Boy* e possui como requisito mínimo a versão 2.0 do sistema operativo *Android*. Não se encontra disponível para outros sistemas operativos móveis. Encontra-se calibrada, com recurso a um sonómetro, para os seguintes modelos: *Samsung Galaxy S3*, *Samsung Galaxy S2*, *Samsung Galaxy Note* e *HTC Desire*. Contudo esta aplicação não é suportada por diversos modelos de marcas como *Sony Xperia*, *LG* e *Alcatel* (Boy, 2013).

Realiza medições de níveis de ruído em unidades dB e disponibiliza uma escala de níveis sonoros de referência para posterior comparação (Figura 4.2). No entanto apenas permite obter níveis de ruído instantâneos e não efetua qualquer registo. A aplicação não possui nenhuma funcionalidade de posicionamento espacial, não permitindo assim obter níveis de ruído associados a uma posição GPS (Boy, 2013).

Deste modo é uma aplicação com funcionalidades básicas que não preenche os requisitos necessários, não sendo desta forma adequada para incorporação no sistema de monitorização.



Figura 4.2 - Aplicação Decibelímetro - *Sound Meter* (Boy, 2013)

4.2.2. Sound Meter – Versão 2.4

É uma aplicação gratuita, concebida pelo programador Borce Trajkovski e possui como requisito mínimo a versão 2.1 do sistema operativo *Android*. Não é disponibilizada para outros sistemas operativos móveis (Trajkovski, 2013).

Realiza medições de níveis de ruído em unidades dB e permite utilizar os filtros de ponderação A e C. Encontra-se calibrada para diversos modelos *smartphone* pertencentes às marcas HTC, *Sony Xperia*, *Samsung*, *Motorola* e LG. São ainda fornecidas instruções para que o utilizador possa calibrar a aplicação manualmente para o seu *smartphone*. Possibilita igualmente visualizar níveis de ruído máximos e mínimos, assim como a inserção de um valor limite de nível sonoro (Figura 4.3). Todavia permite somente obter medições instantâneas, isto é, não existe a possibilidade de estabelecer um período de medição, nem de realizar qualquer registo digital dos níveis de ruído medidos. Tal como a aplicação anterior não possui uma funcionalidade de posicionamento espacial, como GPS. Pelas razões enunciadas esta aplicação não se adequa ao sistema de monitorização em causa.



Figura 4.3 - Aplicação *Sound Meter* (Trajkovski, 2013)

4.2.3. Android Sound Meter – Versão 1.21

Trata-se de uma aplicação gratuita, criada pela comunidade de programadores *StackArena* e possui como requisito mínimo a versão 1.6 do sistema operativo *Android*. Não se encontra disponível para outros sistemas operativos móveis (StackArena, 2013a).

Executa medições de níveis sonoros em unidades dB e após oito segundos, a contar desde a abertura da aplicação, disponibiliza o nível de ruído máximo registado. Além da visualização do nível de ruído em dB, exhibe igualmente os valores medidos graficamente (Figura 4.4). Possui ainda uma interface de calibração, o que permite ao utilizador calibrar manualmente a aplicação para o seu modelo de *smartphone* (StackArena, 2013b).

Não obstante, tal como as aplicações anteriores não armazena um registo das medições efetuadas nem possui qualquer funcionalidade de posicionamento. Desta forma não é adequada para integração no sistema.



Figura 4.4 - Aplicação *Android Sound Meter* (StackArena, 2013a)

4.2.4. DeciBEL – Versão 1.3.2

É uma aplicação gratuita, desenvolvida pela *BSB.BZ - Mobile Solutions* e apresenta como requisito mínimo a versão 1.6 do sistema operativo *Android*, encontra-se disponível exclusivamente para este sistema operativo móvel. Emprega o filtro de ponderação A e permite visualizar os níveis sonoros máximo e mínimo, para além do nível sonoro instantâneo (Figura 4.5). Contém uma interface de calibração, permite visualizar graficamente os níveis de ruído e inclusive obter um gráfico de exposição acumulada *versus* tempo de exposição. Esta funcionalidade tem como objetivo simular um dosímetro (BSB.BZ, 2013).

O único registo digital consentido é a obtenção de capturas de ecrã e não incorpora qualquer funcionalidade de posicionamento espacial. Outra desvantagem é o facto de não possibilitar o estabelecimento de um período de medição. Assim esta aplicação móvel não se adequa ao sistema em questão (BSB.BZ, 2013).

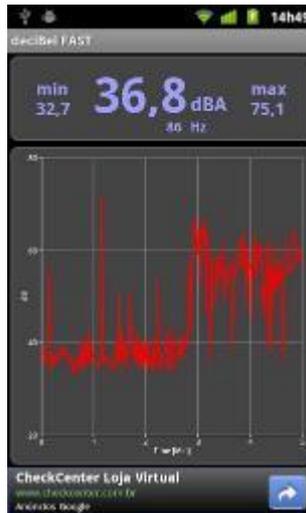


Figura 4.5 - Aplicação *deciBEL* (BSB.BZ, 2013)

4.2.5. WideNoise Plus – Versão 3.5.4

É uma aplicação gratuita, concebida pelo *L3S Research Center* no âmbito do projecto *EveryAware* (*Enhancing environmental awareness through social information technologies*). Apresenta como requisito mínimo a versão 2.2 do sistema operativo *Android* (L3S, 2013a). É disponibilizada igualmente para o sistema operativo *Apple iOS* (o requisito mínimo é a versão 3.0 deste sistema operativo) (WideTag, 2013). A aplicação está associada a um *Website* (<http://cs.everyaware.eu/event/widenoise>), onde um utilizador registado pode submeter e partilhar as suas medições, assim como visualizar as medições da comunidade de utilizadores, através do *OpenStreetMap*. Importa referir que a utilização da aplicação não implica o registo no *Website* associado.

Disponibiliza medições em unidades dB, não contendo nenhum filtro de ponderação (Figura 4.6). Não é possível alterar o período de amostragem, sendo este curto, na ordem dos segundos. Não é feita nenhuma referência quanto à calibração com um sonómetro real, nem permite realizar uma calibração manual. Possui no entanto uma funcionalidade de posicionamento global, o que permite visualizar as medições realizadas em formato mapa, através do *Google Maps*. A partir da aplicação é possível partilhar diretamente as medições executadas, nas redes sociais assim como na página pessoal do utilizador, mediante o *Website* associado à aplicação.

Todavia não permite registar medições em formato digital, no *smartphone*, nem alterar o período de medição. Pelas razões apresentadas e por não ter incorporado o filtro de ponderação A a aplicação não se ajusta aos requisitos necessários.



Figura 4.6 - Aplicação *WideNoise Plus* (L3S, 2013a)

4.2.6. Noise Meter – Versão 2.2

É uma aplicação gratuita, desenvolvida por um programador intitulado Jinasys cujo requisito mínimo é a versão 2.1 do sistema operativo *Android*. É disponibilizada somente para este sistema operativo móvel. Não é fornecida qualquer informação quanto à calibração da aplicação (Jinasys, 2013).

Realiza medições de níveis sonoros em unidades dB e permite utilizar o filtro de ponderação A (Figura 4.7). Esta aplicação contém diversas funcionalidades, permite alterar a taxa de amostragem, isto é, o número de amostras que retira por segundo, assim como o período de medição, desde um minuto até um máximo de 15 minutos. Durante a medição exibe diversos parâmetros, como os níveis sonoros médio, máximo, mínimo, de pico e o nível sonoro equivalente ponderado A. Possui duas interfaces de visualização, ou seja, exibe os parâmetros em formato numérico, de modo isolado, ou conjuntamente com o histórico de medições em formato de gráfico. Permite ainda registar as medições realizadas.

No entanto, não associa qualquer posicionamento espacial aos níveis sonoros, não preenchendo assim todos os requisitos. Por estes motivos, esta não foi a aplicação selecionada.



Figura 4.7 - Aplicação *Noise Meter* (Jinasys, 2013)

4.2.7. NoiseWatch – Versão 2.0

É uma aplicação gratuita, concebida pela Agência Europeia do Ambiente, no âmbito do projecto *Eye on Earth* (*Enhancing environmental awareness through social information technologies*). Apresenta como requisito mínimo a versão 2.2 do sistema operativo *Android* (EEA, 2013a). Está ainda disponível para outros sistemas operativos móveis, nomeadamente *Apple iOS* (o requisito mínimo é a versão 5.0 deste sistema operativo) e *Windows mobile* (cujo requisito mínimo é a versão 7.5 deste sistema operativo) (EEA, 2013b e 2013c).

Esta aplicação está agregada a uma plataforma *online*, *Eye on Earth*, (<http://www.eyearth.org>), para onde os utilizadores podem enviar as suas medições sem necessidade de registo prévio. De acordo com a Agência Europeia do Ambiente, esta aplicação foi calibrada, com recurso a um sonómetro da marca Brüel & Kjær, para os seguintes dispositivos móveis: *iPhone 4*, *Samsung Galaxy sSi9000* e *HTC Desire HD* (Kaartinen, 2013).

Permite captar níveis sonoros em unidades dB, com um período de medição fixo de 10 segundos (Figura 4.8). Não integra qualquer filtro de ponderação e apenas exhibe os níveis sonoros instantâneo e médio, no que respeita ao período de amostragem. As medições estão associadas a um sinal GPS, conseqüentemente é possível visualizar a posição associada ao nível sonoro diretamente na aplicação, através do *Google Maps*. Contudo não permite efetuar qualquer registo de medições.



Figura 4.8 - Aplicação *NoiseWatch* (EEA, 2013c)

4.2.8. NoiseDroid – Versão 1.2

Trata-se de uma aplicação gratuita, criada pelo *Institute for Geoinformatics (ifgi)*, em *Münster*, no âmbito do projeto *OpenNoiseMap*. Tem como requisito mínimo a versão 2.2 do sistema operativo *Android*, não sendo disponibilizada para outros sistemas operativos (52°North, 2013a).

Esta aplicação permite medir níveis sonoros, em unidades dB, em três modos diferentes: manual, automático ou baseado no contexto do equipamento. Permite visualizar as medições realizadas em formato lista ou gráfico (Figura 4.9) (52°North, 2013a).

Não utiliza qualquer filtro de ponderação, o período de amostragem é limitado e não é passível de ser alterado. Não é referido se foi efetuada alguma calibração com um sonómetro profissional, nem existe uma interface de calibração. No entanto, possui uma funcionalidade de posicionamento global. Durante a medição são exibidos os níveis sonoros máximo, mínimo e instantâneo, assim como a posição GPS. Esta aplicação contém a funcionalidade de armazenamento, isto é, é efetuado um registo das medições no *smartphone*.

Todavia não preenche os requisitos necessários, pelo que não foi a aplicação móvel selecionada.



Figura 4.9 - Aplicação NoiseDroid (52°North, 2013b)

4.2.9. NoiseTube Mobile – Versão 1.2.4

É uma aplicação gratuita, desenvolvida pelo *Computer Science Laboratory* da *Sony* em colaboração com a Universidade Livre de Bruxelas (*Vrije Universiteit Brussel*), no âmbito do projeto *NoiseTube*. A aplicação está disponível para os sistemas operativos móveis *Android*, *Java ME* e *Apple iOS* (VUB BrusSense Team, 2013 e Software Languages Lab, 2013).

Esta foi a aplicação móvel selecionada para integração no sistema de monitorização, por preencher os requisitos necessários. Será abordada em pormenor no subcapítulo seguinte.

Em jeito de resumo, na Tabela 4.1 é apresentada uma comparação entre as aplicações móveis analisadas e os requisitos que preenchem.

Tabela 4.1 – Resumo da pesquisa de aplicações móveis

Requisitos	Decibelmetro	Sound Meter	Androird Sound Meter	DeciBEL	WideNoise Plus	Noise Meter	NoiseWatch	NoiseDroid	NoiseTube Mobile
Medição de níveis sonoros em unidades dB(A)	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	✓
Sujeita a procedimentos de calibração	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓
Período de medição variável	-	-	-	-	-	✓	-	-	✓
Registo de medições em formato digital, no <i>smartphone</i>	-	-	-	-	-	✓	-	✓	✓
Registo completo dos níveis de ruído obtidos ao longo do período de medição	-	-	-	-	-	✓	-	-	✓
Níveis de ruído associados a sinal GPS	-	-	-	-	✓	-	✓	✓	✓
Gratuita	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

4.3. Aplicação móvel – *NoiseTube Mobile*

Trata-se de uma aplicação móvel de sensoriamento participativo que pretende tornar um simples *smartphone* num sonómetro portátil de baixo custo. Encontra-se inserida num sistema de avaliação de ruído ambiente intitulado *NoiseTube*, que engloba uma memória comunitária baseada na *Web*, além da aplicação móvel (Figura 4.10). A memória comunitária funciona como repositório dos dados recolhidos pelos utilizadores e como portal para exploração, visualização e análise de dados (Stevens, 2012).

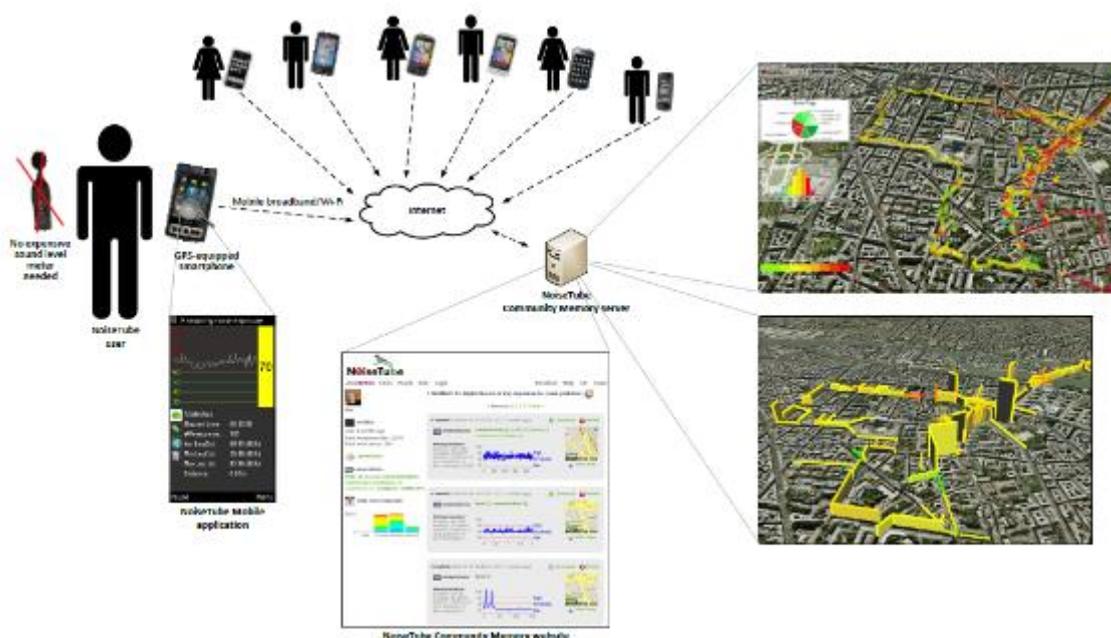


Figura 4.10 - Arquitetura do sistema *NoiseTube* (Stevens, 2012)

Atualmente a aplicação é disponibilizada para três sistemas operativos móveis, as plataformas *Java ME*, *Android* e *Apple iOS*. Pode ser descarregada através do *Website NoiseTube* ou das lojas de aplicações móveis, associadas a cada plataforma móvel. A sua utilização não implica um registo de utilizador no *Website*, esta operação é necessária somente para a submissão de dados na memória comunitária associada (Stevens, 2012).

Por se basear no sensoriamento participativo, esta aplicação envolve ativamente o utilizador conferindo-lhe total controlo. Ou seja, é o utilizador que determina o local, o período do dia e a duração das medições que pretende realizar (Stevens, 2012).

4.3.1. Medição do nível sonoro

A aplicação *NoiseTube Mobile* possui como principal função mensurar o nível sonoro na envolvente do utilizador, assim atua como um sonómetro integrador convencional, medindo o nível sonoro contínuo

equivalente (L_{eq}). Desta forma, a aplicação permite avaliar o ruído ambiente, quantificando-o de acordo com a legislação europeia em vigor (Stevens, 2012).

O nível de ruído é medido através do microfone do equipamento móvel, mediante a gravação repetitiva de amostras de áudio digital com uma duração de um segundo. A estas amostras é aplicado um algoritmo de processamento de sinal digital, resultando num único valor de L_{eq} . Assim, após cada medição é obtida uma série de valores de L_{eq} , com intervalos de 1 segundo (Stevens, 2012).

Durante a medição é ainda aplicada uma ponderação de frequência por forma a ajustar o nível sonoro. Para ser viável a comparação com a maioria dos sonómetros comerciais e legislação sobre avaliação de ruído, o *NoiseTube Mobile* aplica um filtro de ponderação A, pelo que o L_{eq} obtido é expresso em unidades dBA. Em cada medição, juntamente com o nível sonoro é também registada a data e hora em que decorreu (Stevens, 2012).

Na Figura 4.11 é apresentado o aspeto da aplicação durante uma medição (para a plataforma *Android*). O nível sonoro contínuo equivalente instantâneo é exibido no ecrã, assim como o tempo de medição decorrido, os níveis sonoros contínuo equivalente mínimo, máximo e médio. Na parte inferior do ecrã são exibidas, graficamente, as últimas 60 medições. Para facilitar a interpretação dos valores medidos, tanto o nível sonoro instantâneo como o gráfico de medições são apresentados numa escala cromática que engloba quatro cores (verde, amarelo, cor-de-laranja e vermelho). A cor verde representa níveis de ruído baixos enquanto a cor vermelho representa níveis de ruído elevados (Stevens, 2012).



Figura 4.11 - Aplicação móvel *NoiseTube Mobile* durante uma medição (plataforma *Android*) (Adaptado de Stevens, 2012)

Importa salientar que com o intuito de proteger a privacidade dos utilizadores da aplicação, não é realizado qualquer armazenamento ou transmissão de amostras de áudio (Stevens, 2012).

Calibração do NoiseTube Mobile

Para obter resultados com a maior precisão possível, é importante que a aplicação seja calibrada face a um sonómetro. Idealmente esta calibração deveria ser executada individualmente, para cada modelo de *smartphone*, pois diferentes aparelhos possuem microfones com diferentes propriedades. Contudo tal cenário não é exequível, pelo que oficialmente a aplicação encontra-se calibrada para um número limitado de modelos de *smartphones* (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Marcas e modelos de *smartphone* para os quais a aplicação NoiseTube Mobile se encontra calibrada (D'Hondt, 2013a)

Sistema operativo	Marca e modelo de <i>smartphone</i>
Java ME	Nokia 5230 Nokia N95 8GB Nokia E65 Nokia N96 Nokia 5800 Nokia N79 Sony Ericsson W995
Android	HTC Hero HTC Desire HD HTC Desire S HTC One X Dell Streak 5 Samsung Galaxy S II
Apple iOS	iPhone 3GS iPhone 4 iPhone 4S iPhone 5

No processo de calibração os responsáveis pela aplicação *NoiseTube* utilizaram um ambiente controlado, o qual englobou uma câmara anecoica, uma sala sem eco e à prova de som, assim como geradores de sinal, um gerador de ondas *HP Agilent* 33120A, para produzir sinais de tom puro e um gerador de ruído *Brüel & Kjær Type* 1405, para produzir ruído branco. Com a finalidade amplificar os sinais de som, recorreram a um amplificador *Brüel & Kjær Type* 2706, que por sua vez se encontrava ligado a um altifalante.

Como sonómetro de referência utilizaram uma instalação que integrava um microfone condensador *Microtech* MK250, uma estação de aquisição de dados *LMS Scadas* III e um computador com o *software* *LMS Test.Lab*. No *smartphone* a testar, foi implementada a aplicação *NoiseTube Tester*, que corresponde a uma versão da aplicação *NoiseTube* utilizada exclusivamente em procedimentos de calibração. Por essa razão, esta versão utiliza o mesmo código de medição de som mas não aplica qualquer correção ao nível sonoro mensurado (Stevens, 2012).

Os geradores de sinal, a estação LMS e o computador foram colocados no exterior da câmara anecoica, enquanto o amplificador, o altifalante, o microfone e o *smartphone* foram posicionados no seu interior. Importa frisar que o microfone condensador e o *smartphone* foram dispostos de forma a estarem à mesma distância do altifalante e na sua direção (Stevens, 2012).

O procedimento de calibração iniciou-se com a geração de som de um determinado tipo, durante um período de aproximadamente um minuto. O som gerado era constituído por um tom puro de uma determinada frequência ou por ruído branco, com um nível sonoro constante. Ao longo deste período, o nível sonoro registado pelo sonómetro de referência era lido diretamente a partir do computador. Por sua vez os valores obtidos com o *NoiseTube Tester* eram registados no *smartphone*. Findo o referido período, o nível sonoro e/ou a frequência eram alterados e novamente mantidos a valores constantes, ao longo do mesmo intervalo de tempo. Este procedimento foi realizado até terem sido testados todos os níveis e/ou frequências de som relevantes (Stevens, 2012). De seguida foi realizada a avaliação do ficheiro de registo do telemóvel em teste. Assim, através da data e hora associada a cada medição (no *smartphone*) foram identificadas as medições correspondentes a cada período de testes. Posteriormente aplicaram o cálculo de médias para eliminar erros aleatórios, obtendo assim um único nível sonoro, para cada tipo de som avaliado, medido pelo telemóvel. Os valores médios obtidos foram então comparados aos valores correspondentes determinados a partir do sonómetro de referência. Esta operação teve como objetivo computar erros de medição sistemáticos (Stevens, 2012). Deste processo resulta uma configuração de calibração para a marca e modelo do *smartphone* em avaliação que permitirá efetuar as devidas correções às leituras de níveis sonoros executadas com a aplicação *NoiseTube*.

De cada vez que a aplicação é iniciada é realizada uma comparação entre a marca e o modelo do *smartphone* em causa com a lista de modelos já calibrados, o que permite que a aplicação selecione a configuração de calibração mais adequada. Esta informação é registada em conjunto com as medições (Stevens, 2012).

4.3.2. Georreferenciação de medições

A aplicação contém uma funcionalidade para georreferenciar automaticamente cada medição de nível sonoro, ou seja, permite associar o nível sonoro a coordenadas geográficas. Esta informação é obtida através do recetor GPS incorporado no *smartphone* e é transmitida juntamente com os dados de medição. Esta utilidade pode ser desativada a qualquer momento, caso o utilizador deseje proteger a sua privacidade ou reduzir o consumo de energia por parte da aplicação (Stevens, 2012).

Existe ainda uma interface de mapeamento, que permite visualizar os níveis de ruído em formato de mapa, através do *Google Maps* (Figura 4.12) (Stevens, 2012).



Figura 4.12 - Georreferenciação na aplicação *NoiseTube* (plataforma *Android*) (Adaptado de Stevens, 2012)

4.3.3. Armazenamento de dados

A aplicação apresenta três alternativas para o armazenamento de dados (Figura 4.13). O utilizador pode submeter os dados diretamente para a memória comunitária *NoiseTube* e guardá-los localmente no *smartphone* ou simplesmente armazená-los no seu equipamento móvel. Como terceira opção o utilizador pode escolher não guardar qualquer registo de medições. A primeira opção requer que o utilizador esteja registado no *Website* associado e que possua uma ligação à internet, para que seja viável o envio de dados em tempo real (Stevens, 2012).

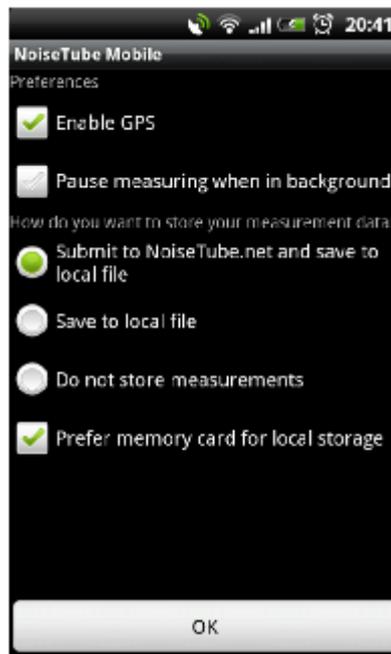


Figura 4.13 - Ecrã de escolha de preferências na aplicação *NoiseTube* (plataforma *Android*) (Stevens, 2012)

O armazenamento local de medições resulta em ficheiros de formato XML (*Extensible Markup Language*), formato escolhido devido à sua simplicidade e generalidade. Desta forma qualquer utilizador com capacidades computacionais básicas está apto a analisar e utilizar os dados recolhidos. Estes ficheiros podem também ser enviados posteriormente para a memória comunitária *NoiseTube* (Stevens, 2012).

4.3.4. Condições de correta utilização da aplicação

Para assegurar a qualidade dos dados obtidos através da aplicação móvel é necessário garantir a existência de boas condições de medição, obrigando ao envolvimento do utilizador. Assim, é importante que durante as medições não sejam utilizadas determinadas funcionalidades do *smartphone*, responsáveis pela reprodução de som. É o caso da realização de chamadas ou escrita de mensagens de texto, uma vez que estas atividades podem afetar os níveis sonoros medidos. Da mesma forma o utilizador deve evitar realizar atividades geradoras de ruído junto ao *smartphone* (e.g. conversação). Desta forma, a aplicação pode medir o ruído ambiente sem qualquer interferência.

Outra recomendação essencial diz respeito à localização do equipamento durante a utilização da aplicação. Para que seja possível uma leitura correta dos níveis sonoros é importante que o microfone do equipamento não esteja coberto. Por esta razão o cidadão deve manter o *smartphone* fora de bolsos ou malas; caso contrário pode ocorrer um amortecimento do ruído, resultando numa leitura incorreta.

4.4. Página em rede social e aplicação Web

Sendo um dos objetivos do sistema de monitorização participativa promover a sensibilização para o problema da poluição sonora, é útil tirar proveito das TIC. Por essa razão é essencial utilizar a *internet* para a divulgação do projeto e dos resultados obtidos no âmbito do mesmo.

4.4.1. Página em rede social associada ao sistema de monitorização

De entre a gama de redes sociais existentes, foi selecionada a rede social *Facebook* (Figura 4.14), em consequência do grande número de utilizadores existente. A página funcionaria como fórum de discussão sobre o tema, onde os cidadãos poderiam partilhar as suas preocupações sobre questões relacionadas com o ruído. Tais preocupações podem passar por denúncias de situações de exposição prolongada a níveis de ruído prejudiciais ou, por exemplo, apenas visualizar o mapa de ruído da sua área de residência.



Figura 4.14 - Visualização do cabeçalho da página fictícia na rede social *Facebook*, associada ao sistema de monitorização

Esta página teria ainda como finalidade divulgar o projeto junto do público e recrutar voluntários para a realização de medições. De modo a facilitar a interpretação dos dados, por parte dos cidadãos, seria igualmente disponibilizada informação relativa ao tema do ruído ambiente. Nomeadamente conceitos básicos, legislação em vigor e limites legais de níveis de ruído.

4.4.2. Aplicação Web para visualização de dados

Na página associada ao sistema de monitorização prevê-se a incorporação de uma aplicação de mapeamento *Web*, com base no *Google Maps*, para visualização dos níveis de ruído medidos (Figura 4.15).



Figura 4.15 - Visualização da aplicação *Web* inserida na página *online* do sistema de monitorização

Esta componente corresponde a uma miniaplicação associada ao *Google Maps*. Consiste num *gadget* que permite visualizar mapas criados através do serviço de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite do planeta Terra, o *Google Maps*. A exibição é possível através da publicação do código HTML (*HyperText Markup Language*) correspondente ao mapa criado.

Tal como mencionado, a aplicação *NoiseTube Mobile* armazena os dados provenientes das medições numa extensão XML. Através de um *software* de folhas de cálculo, como o *Microsoft Excel*, é possível converter este ficheiro para o formato de texto, isto é, para a extensão TXT (texto, separado por tabulação). Após esta conversão, o ficheiro pode ser utilizado no serviço *Fusion Tables*, da *Google*. Este serviço consiste numa aplicação *Web* experimental de visualização de dados, que permite recolher, visualizar e partilhar grandes bases de dados, gratuitamente (Google, 2013a).

Um dos elementos deste serviço é o mapeamento dos dados tabelados, a partir do *Google Maps*. Esta função pode ser utilizada caso existam coordenadas GPS associadas aos dados que se pretendem mapear. É ainda possível a publicação do mapa criado, mediante um código HTML que pode ser incorporado num *Website*. Qualquer alteração que seja executada na base de dados, inserida no *Fusion Tables* (e.g. junção de novos dados), será automaticamente atualizada no *Website* onde tenha sido incorporado o código HTML. No caso do sistema de monitorização aqui apresentado, a publicação do código HTML associado ao mapa de níveis de ruído, será executada na página de rede social agregada ao sistema.

De modo demonstrar o desenvolvimento do protótipo da aplicação, utilizaram-se dados de níveis de ruído recolhidos a 28 de Janeiro de 2013. Dados estes que correspondem a um curto percurso pedonal, realizado no concelho de Almada, na Av. Dom Afonso Henriques.

O ficheiro em formato XML, retirado da aplicação móvel, contém diversas colunas correspondentes a informação relativa às medições realizadas. Nomeadamente, informação respeitante à hora de início

da medição, a marca, modelo e plataforma (sistema operativo) do *smartphone*, configuração de calibração utilizada, registo temporal de cada medição, nível sonoro e coordenadas geográficas, entre outras. Previamente à conversão do ficheiro para a extensão TXT (separado por tabulação) é necessário realizar alterações na formatação dos dados, para que estes possam ser visualizados espacialmente.

As coordenadas geográficas associadas a cada nível sonoro são registadas de acordo com o *datum* WGS84 (formato decimal). E possuem um prefixo “geo:”, associado às coordenadas numéricas. Contudo, para que estas coordenadas possam ser interpretadas pelo serviço *Google Maps*, é necessário eliminar esse prefixo. Esta tarefa pode ser realizada através da função de substituição do *software Microsoft Excel*, obtendo-se assim uma coluna contendo apenas as coordenadas numéricas de localização. Após esta alteração é realizada a conversão do ficheiro de uma extensão XML para uma extensão TXT. O novo ficheiro pode assim ser importado para a base de dados, inserida no serviço *Fusion Tables*, seleccionando as opções de *tab* (tabulação) como caracter de separação.

Importa referir que o serviço *Fusion Tables* suporta igualmente formatos de ficheiros de folhas de cálculo, correspondentes às extensões XSLX e XLSX. Contudo nestes formatos existem limitações quanto à importação de dados, nomeadamente no que diz respeito ao tamanho do ficheiro e ao número total de células e colunas. Assim foi utilizado um formato de ficheiro de texto.

No serviço *Fusion Tables* é possível seleccionar os critérios de mapeamento dos dados, quanto ao estilo do mapa e à informação exibida, quando é seleccionado um qualquer ponto. Associada a cada medição é importante exibir determinadas informações, tais como marca e modelo do *smartphone*, data e hora da medição, assim como o nível sonoro contínuo equivalente, em unidades dBA. Na Figura 4.16 é possível observar o aspeto da tabela no *Fusion Tables*, contendo a informação relevante quanto à medição experimental.

Medida de intensidade	Medição de intensidade	Plataforma	Calibração	Data e hora	Geo (WGS84)	Localização
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	61	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	63	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	69	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	71	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	65	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	62	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	64	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	67	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	66	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	60	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	68	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	69	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	68	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	67	28.26222840042300; -51.522670703414
HTC	HTC Explorer A310s	Android	Calibration for HTC Hero (source: open table from ...)	2013-09-20T10:01:22Z	61	28.26222840042300; -51.522670703414

Figura 4.16 - Tabela no Google Fusion Tables, contendo informação associada a medições de níveis sonoros

Quanto aos critérios de mapeamento, por forma facilitar a comparação com os mapas de ruído elaborados por entidades oficiais, é utilizada a mesma escala de valores de L_{Aeq} . Ou seja, é utilizada uma divisão de 5 intervalos associada a uma escala cromática (Figura 4.17).

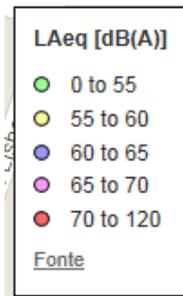


Figura 4.17 - Legenda estabelecida para o mapeamento de medições

É possível visualizar os dados obtidos de mediante dois modos de visualização, mapa (Figura 4.18) ou satélite (Figura 4.19). Em modo mapa os dados georreferenciados são exibidos sobre um mapa tradicional, onde é possível visualizar uma representação de estradas, parques, massas de água e outros pontos de referência. No modo satélite, os dados são exibidos sobre uma imagem real, proveniente de satélite. Em ambos os modos são exibidos nomes de ruas, edifícios importantes e outras informações (Google, 2013b).



Figura 4.18 - Visualização do ensaio experimental em modo mapa



Figura 4.19 - Visualização do ensaio experimental em modo satélite

Importa salientar que o protótipo de aplicação *Web* aqui apresentado se encontra bastante simplificado, pois seria necessário desenvolver uma aplicação propriamente dita, tendo como base o procedimento aqui apresentado. Deste modo os utilizadores poderiam importar os seus dados para a *Web*, de uma forma mais expedita e automatizada. Contudo esta etapa não foi exequível no âmbito deste trabalho. Todavia constitui um desenvolvimento futuro caso ocorra algum seguimento quanto ao sistema de monitorização proposto.

4.5. Incentivo à participação no sistema de monitorização participativo

Um aspeto essencial para o sucesso de qualquer sistema de sensoriamento participativo é a obtenção de uma massa crítica de utilizadores. Ou seja, o envolvimento de um número suficiente de cidadãos que permita obter um fluxo de contribuições elevado e contínuo.

Assim é proposta a implementação de um esquema de incentivo que atue como elemento motivador junto dos cidadãos. Este será de cariz monetário, na forma de cupões de desconto atribuídos em troca de contribuições de medições de níveis de ruído.

No entanto, para a implementação deste esquema seria necessário a colaboração de lojas de retalho, para a disponibilização de descontos sobre determinados produtos. Em retorno as lojas beneficiariam de publicidade na página de rede social associada ao sistema.

5. Utilização do sistema de monitorização

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos quanto aos ensaios de medição de ruído ambiente.

Como mencionado no capítulo que aborda a metodologia, o parâmetro de avaliação utilizado nos ensaios foi o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}), uma vez que é esse o indicador disponibilizado na aplicação móvel *NoiseTube*.

Ainda que a aplicação móvel tenha sido desenvolvida para registar valores de L_{Aeq} com intervalos de um segundo, tal situação não se confirmou aquando da sua utilização neste trabalho. Isto é, nem sempre foi possível obter séries de valores $L_{Aeq, 1s}$ completas. Esta limitação tem como origem o facto de a gravação áudio, o processamento (isto é, o cálculo do valor em dBA) e o registo ocorrerem simultaneamente, o que origina a perda de alguns valores $L_{Aeq, 1s}$ (D'Hondt, 2013b). Para ultrapassar esta lacuna, todas as séries de valores foram completadas através do método de interpolação, com recurso à fórmula da média logarítmica.

5.1. Comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos

Para os ensaios realizados no âmbito desta secção, foram utilizados os seguintes equipamentos de medição: um *smartphone* da marca HTC e modelo *Explorer* (onde foi instalada a aplicação *NoiseTube*) e um sonómetro profissional da marca Brüel & Kjær e modelo 2260 Investigator.

Na fase de análise dos resultados referentes às medições foi identificado um desfasamento temporal, na ordem dos segundos, entre os dados obtidos com o sonómetro e os dados obtidos através da aplicação móvel. Esta condição poderá ter origem numa incorreta sincronização horária entre o sonómetro e o *smartphone*, ou num defeito da aplicação aquando do registo dos valores de L_{Aeq} . No entanto, este aspeto não tem qualquer influência sobre a qualidade das medições realizadas com a aplicação móvel. Ainda assim, estando a ser avaliada a correlação entre as medições provenientes dos dois equipamentos, foi necessário proceder à correção desse desfasamento temporal. Esta correção foi executada manualmente, de modo individual, para cada conjunto de medições.

5.1.1. Ruído ambiente

Foram conduzidos dois ensaios, nas mesmas condições de medição, na Av. Fontes Pereira de Melo, em Lisboa. Ambos os ensaios decorreram no dia 21 de Maio de 2013, tendo o segundo sido realizado entre as 19:45h e as 20:45h.

Na Tabela 5.1 são apresentados os valores $L_{Aeq, 1s}$ máximo e mínimo, assim como o valor $L_{Aeq, 1h}$, resultantes do ensaio.

Tabela 5.1 - Resultados globais do segundo ensaio referente a ruído ambiente

	Sonómetro	NoiseTube
L_{Aeq,1s} mínimo (dBA)	55,06	54
L_{Aeq,1s} máximo (dBA)	88,63	85
L_{Aeq,1h} (dBA)	74,22	72,41

Não obstante terem sido obtidos valores de $L_{Aeq,1s}$, procedeu-se à sua agregação em $L_{Aeq,1min}$, por forma a facilitar a sua posterior análise, devido ao longo período de medição. Na Figura 5.1 é apresentado o conjunto de valores de $L_{Aeq,1min}$ obtidos com o ensaio.

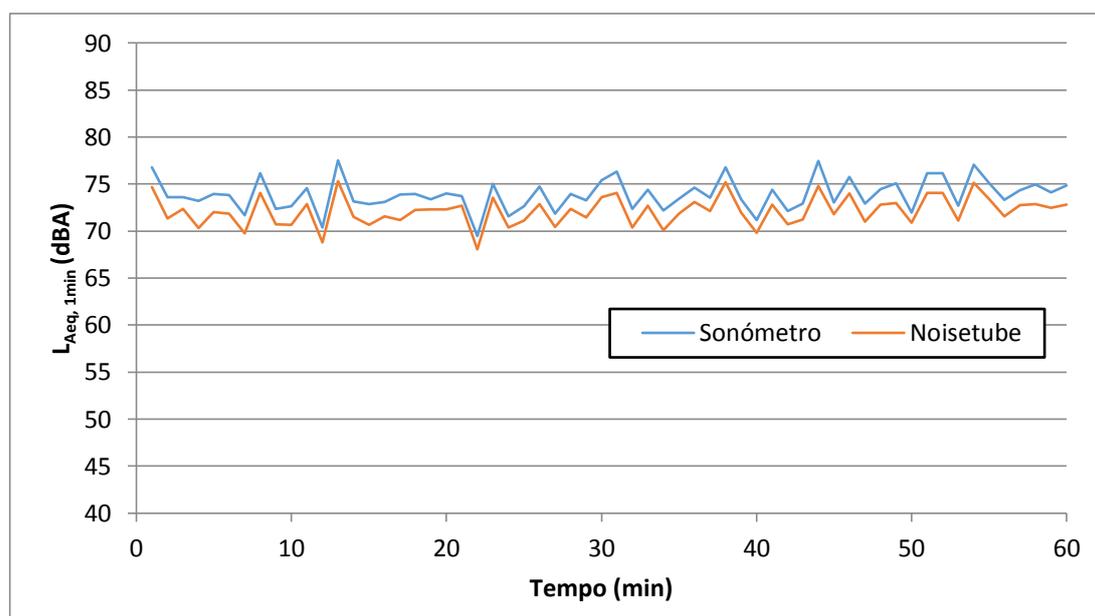


Figura 5.1 - Valores $L_{Aeq,1min}$ obtidos durante o segundo ensaio relativo a ruído ambiente

Através do resumo do ensaio (Tabela 5.1), é notável uma ligeira diferença entre os valores obtidos com o sonómetro e os valores obtidos com o *smartphone*. As maiores diferenças ocorrem quanto aos valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e $L_{Aeq,1h}$, correspondendo a 3,63 dBA e 1,81 dBA, respetivamente. Tomando em consideração que no primeiro ensaio no âmbito deste ambiente acústico (analisado no Anexo 3), a principal diferença foi obtida quanto ao $L_{Aeq,1s}$ mínimo, podemos verificar que a aplicação *NoiseTube* possui menor rigor na medição de níveis sonoros extremos (máximos e mínimos). As condições observadas de volume de tráfego e a ocorrência de maior número de picos de ruído resultaram em maiores flutuações em termos de níveis sonoros, às quais o sonómetro responde de forma rápida e eficaz.

Pela representação gráfica dos valores de $L_{Aeq,1min}$, podemos afirmar que a aplicação móvel permite obter uma boa caracterização do ambiente acústico, estando assinaladas as diversas elevações e diminuições de níveis sonoros. Isto é, graficamente as linhas correspondentes à aplicação *NoiseTube* e ao sonómetro possuem o mesmo comportamento. Porém, os valores obtidos com recurso ao

sonómetro são, em geral, superiores aos obtidos com a aplicação móvel, o que sucede devido à sua maior exatidão.

Pelo mapa de ruído global da cidade de Lisboa, relativo ao indicador de ruído L_{den} (Figura 5.2), verifica-se que na área circundante ao local de medição selecionado (assinalado na figura por um círculo azul), o indicador assume um valor superior a 70 dBA. Para meros efeitos de verificação da gama de valores medidos mesmo sabendo-se da diferença de cálculo dos indicadores em causa, comparando este valor com o indicador $L_{Aeq, 1h}$ obtido no ensaio, podemos assumir que os valores são próximos. É necessário ter também presente que o indicador L_{den} é obtido a partir da ponderação dos indicadores correspondentes aos três períodos legais de referência (diurno, entardecer e noturno).

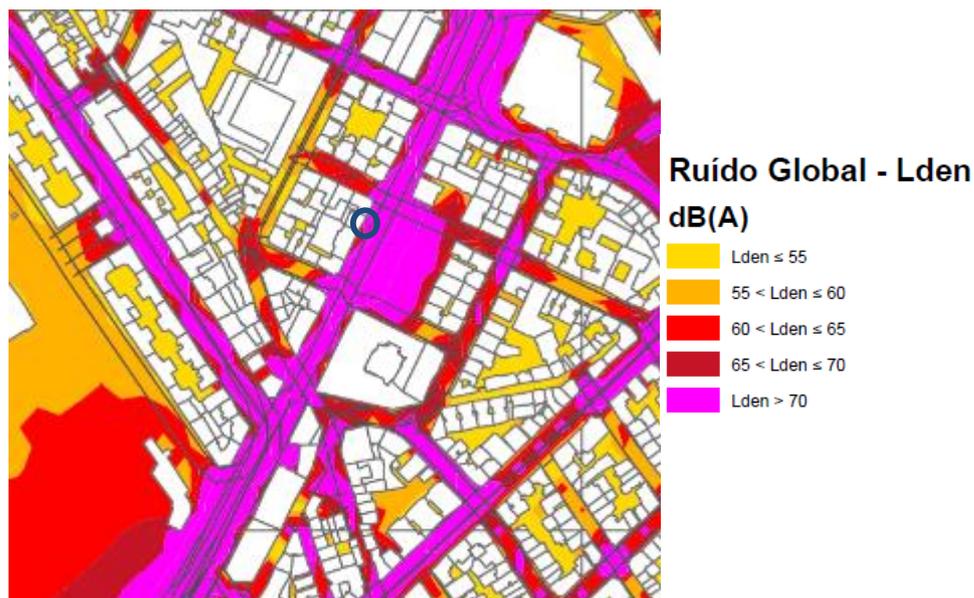


Figura 5.2 - Excerto do Mapa de Ruído Global da cidade de Lisboa, relativo ao período diurno-entardecer-noturno (Adaptado de CML, 2013)

Por forma a avaliar o ajustamento linear entre os valores obtidos com os dois equipamentos, determinaram-se os coeficientes de determinação (R^2) entre as duas séries de valores. O primeiro coeficiente diz respeito a uma regressão linear sem intersecção na origem (Figura 5.3) e o segundo corresponde a uma intersecção com intersecção na origem (Figura 5.4).

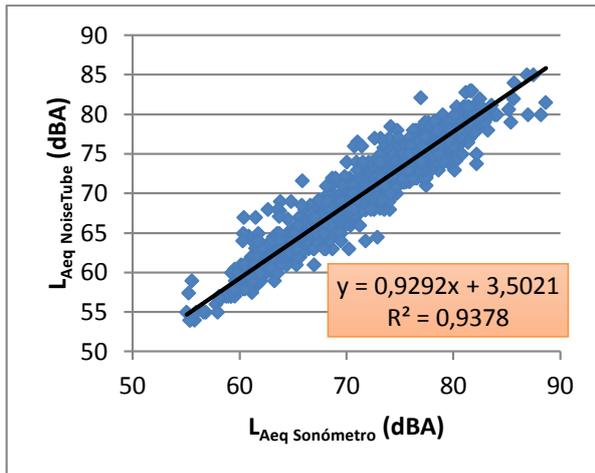


Figura 5.3 - Representação gráfica da regressão linear (sem intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído ambiente, quanto ao ensaio 2

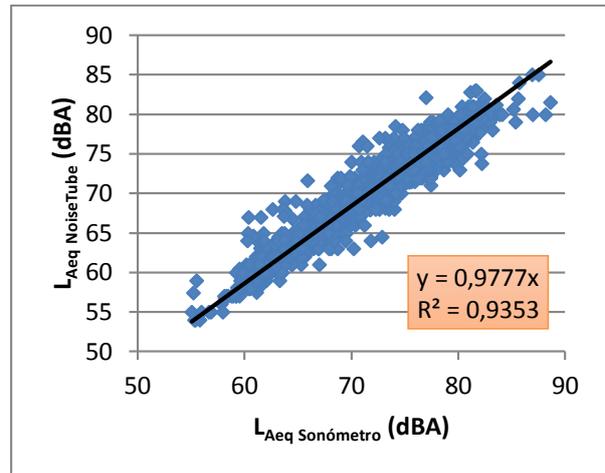


Figura 5.4 - Representação gráfica da regressão linear (com intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído ambiente, quanto ao ensaio 2

Através de uma regressão linear (sem intersecção na origem) obteve-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,94, ou seja, 94% da variância é explicada pelo modelo testado. Uma vez que esta percentagem é superior a 85% podemos afirmar que o modelo é robusto e que pode ser utilizado para previsão. Após a realização de uma análise de variância verificou-se ainda que o modelo é estatisticamente significativo ($p < 0,05$). Como tal, podemos afirmar, com um grau de confiança de 95%, que os dados são dependentes e que 94% da relação entre eles é explicada de acordo com um modelo de regressão linear.

De acordo com o declive obtido para a reta de regressão constata-se que existe uma grande aproximação entre os valores obtidos com a aplicação móvel e com o sonómetro, pois o declive é bastante próximo de um. É possível a existência de um patamar mínimo de detecção de aproximadamente 3,5 dBA, na aplicação móvel, no entanto não é possível confirmar esta evidência. Comparando as duas regressões lineares realizadas não se observam diferenças significativas, quanto aos declives das rectas e aos coeficientes de regressão.

A análise detalhada do primeiro ensaio, no âmbito da avaliação deste ambiente acústico, pode ser consultada no Anexo 3.

Ainda no âmbito deste segundo ensaio, foi analisada a propagação do erro quanto à extensão do período de medição. Como tal, foi calculado o erro entre os valores de L_{Aeq} obtidos com o sonómetro e com a aplicação móvel, para diversos períodos de medição, entre um e vinte minutos, com incrementos sucessivos de um minuto (Figura 5.5).

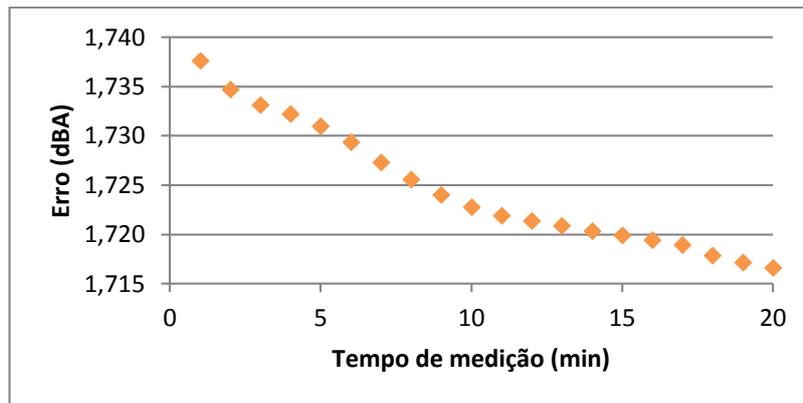


Figura 5.5 - Propagação do erro em relação ao período de medição

Tal como esperado, verifica-se que um aumento do tempo de medição resulta numa diminuição do erro associado à medição. Porém a diminuição alcançada não é significativa, sendo inferior a 0,1 dBA. Deste modo, podemos afirmar que a duração da medição não influencia de modo relevante o erro associado.

5.1.2. Ruído gerado por tráfego

No âmbito deste ambiente acústico foram avaliados quatro tipos de tráfego: rodoviário, fluvial, ferroviário e aéreo.

Quanto ao tráfego ferroviário subterrâneo o local de medição selecionado foi a estação Alameda. Os dois ensaios decorreram no dia 5 de Junho de 2013, tendo o segundo sido executado entre as 18:26h e as 18:41h.

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e mínimo, assim como o valor $L_{Aeq,15min}$, resultantes do ensaio.

Tabela 5.2 - Resultados globais do segundo ensaio referente a ruído ferroviário subterrâneo

	Sonómetro	NoiseTube
$L_{Aeq,1s}$ mínimo (dBA)	50,64	51
$L_{Aeq,1s}$ máximo (dBA)	88,36	85
$L_{Aeq,15 min}$ (dBA)	75,99	75,23

Na Figura 5.6 é apresentado o conjunto de valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos no decorrer do ensaio. Encontram-se assinalados na figura (círculo verde) os picos de ruído resultantes da passagem de metropolitanos.

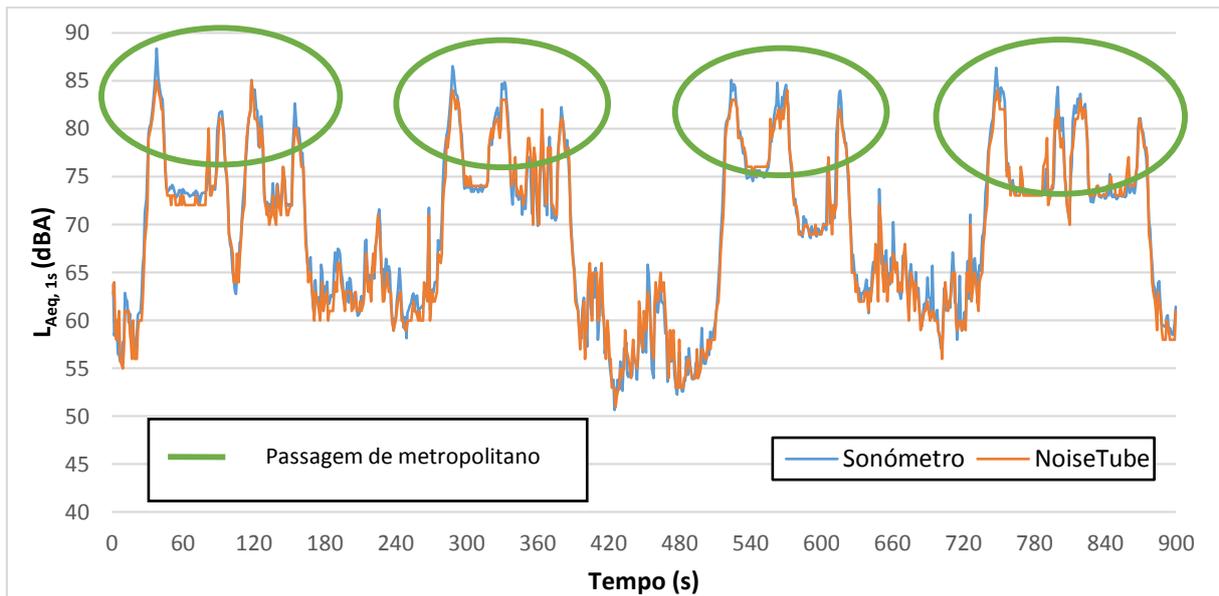


Figura 5.6 - Valores $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o segundo ensaio referente a ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo

Analisando o resumo do ensaio (Tabela 5.2), é notável uma ligeira diferença quanto aos valores $L_{Aeq,1s}$ mínimo e $L_{Aeq,15\text{ min}}$ (inferior a 1 dBA); no que respeita ao valor $L_{Aeq,1s}$ máximo é observável uma diferença superior (3,36 dBA). A maior disparidade verificada no registo do nível sonoro máximo evidencia a menor sensibilidade da aplicação móvel para captar picos de ruído. Essa relação é comprovada pela informação retirada da representação gráfica de todos os valores $L_{Aeq,1s}$ obtidos. Ou seja, a linha correspondente à aplicação móvel apresenta o mesmo comportamento da linha associada ao sonómetro, existindo maiores diferenças entre as duas linhas no que respeita aos valores máximos.

No sentido de avaliar o ajustamento linear entre os valores obtidos com os dois equipamentos, procedeu-se ao cálculo dos coeficientes de determinação (R^2) entre as duas séries de valores. O primeiro coeficiente diz respeito a uma regressão linear sem intersecção na origem (Figura 5.7) e o segundo corresponde a uma intersecção com intersecção na origem (Figura 5.8).

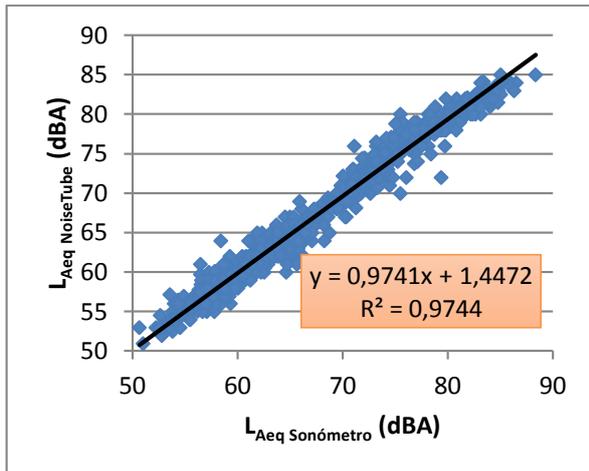


Figura 5.7 - Representação gráfica da regressão linear (sem intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo (metro), para o ensaio 2

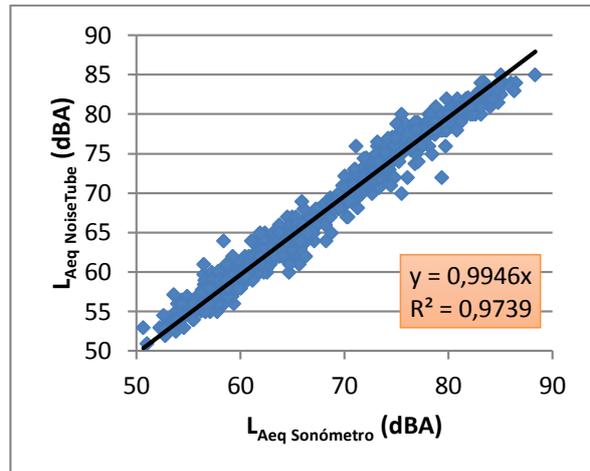


Figura 5.8 - Representação gráfica da regressão linear (com intersecção na origem) entre as medições realizadas para ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo (metro), para o ensaio 2

Com a regressão linear sem intersecção na origem determinou-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,97 o que significa que 97% da variância é explicada pelo modelo em análise. Dada esta percentagem ser superior a 85%, estamos em condições de afirmar que o modelo é robusto e pode ser empregado para previsão. Através de uma análise de variância constatou-se que o modelo é estatisticamente significativo ($p < 0,05$). Podemos assim assegurar que os dados são dependentes, com um grau de confiança de 95% e que 97% da relação entre eles é explicada com recurso a um modelo de regressão linear.

Através do declive da recta de regressão podemos afirmar que existe uma grande aproximação entre os valores obtidos com o *NoiseTube* e o sonómetro, uma vez que o declive está bastante próximo de um. Em resultado desta maior correspondência entre valores, o potencial patamar mínimo de detecção, da aplicação móvel, é inferior a 2 dBA. Porém não podemos retirar qualquer relação, dado este patamar não se inserir na gama de níveis sonoros testados.

Ao compararmos as Figuras 5.7 e 5.8, podemos verificar que numa regressão linear cuja intersecção seja na origem não ocorre uma redução da variância explicada. A análise detalhada do primeiro ensaio relativo a este ambiente acústico pode ser consultada no Anexo 3.

Quanto ao tráfego ferroviário superficial, os ensaios decorreram na estação Sete-Rios, no dia 18 de Julho de 2013, das 16:16h às 16:31h e das 17:05h às 17:20h. Existe uma boa aproximação entre os valores obtidos com o sonómetro e com a aplicação móvel, tendo-se obtido um coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,8, em ambos os ensaios. Verificou-se ainda que o modelo é estatisticamente significativo ($p < 0,05$). Face a estes resultados, podemos afirmar que o modelo é robusto e pode ser utilizado para previsão. A análise detalhada dos ensaios relativos a este ambiente acústico pode ser consultada no Anexo 3.

No que respeita ao tráfego rodoviário, os ensaios foram realizados numa paragem situada na Praça do Comércio, no dia 17 de Junho de 2013, das 15:53h às 16:08h e das 17:08h às 17:23h. Em ambos os ensaios foi obtido um R^2 superior a 0,6, o que evidencia um modelo pouco robusto que não pode ser utilizado para efeitos de previsão. Contudo ele é estatisticamente significativo ($p < 0,05$). A análise pormenorizada dos ensaios relativos a este ambiente acústico encontra-se no Anexo 3.

Relativamente ao tráfego aéreo, os ensaios decorreram na Alameda da Universidade (Cidade Universitária), no dia 23 de Junho de 2013, das 18:09h às 18:24h e das 18:25h às 18:40h. No decorrer destes ensaios ocorreu uma forte influência das condições meteorológicas, nomeadamente quanto à velocidade do vento. O facto de esta ser elevada durante alguns períodos, em ambos os ensaios, perturbou a medição dos níveis sonoros, em particular no caso da aplicação móvel, dado o *smartphone* não possuir qualquer atenuador de vento, como sucede com o sonómetro. Por esta razão, tornou-se necessário analisar o ajustamento linear entre as variáveis $L_{Aeq\ NoiseTube}$ e $L_{Aeq\ Sonómetro}$ de forma isolada, para um evento (considerando como evento a passagem de uma aeronave pelo local de medição). Através desta análise obteve-se um bom ajustamento linear entre as variáveis ($R^2 > 0,8$), que é considerado estatisticamente significativo ($p < 0,05$). Deste modo estamos em condições de afirmar que o modelo é robusto e como tal pode ser utilizado para efeitos de previsão. A análise detalhada dos ensaios realizados no âmbito deste tipo de tráfego pode ser consultada no Anexo 3.

Por último, no âmbito do tráfego fluvial, os ensaios tiveram lugar na plataforma de embarque Transtejo, em Cacilhas, no dia 19 de Junho de 2013, das 8:52h às 9:02h e das 11:38h às 11:47h. Em ambos os ensaios foram obtidos coeficientes de determinação próximos de zero, o que demonstra a existência de um modelo muito pouco robusto. No entanto, o modelo obtido no primeiro ensaio revelou ser estatisticamente significativo ($p < 0,05$), ao contrário do modelo obtido através do segundo ensaio, que não é considerado estatisticamente significativo ($p > 0,05$). A avaliação em pormenor dos ensaios realizados no âmbito deste tipo de tráfego pode ser consultada no Anexo 3.

Na Tabela 5.3 é apresentado o resumo de todos os ensaios realizados em relação aos diversos indicadores acústicos medidos. São igualmente apresentados os resultados das análises estatísticas efetuadas. Por forma a facilitar a interpretação destes últimos resultados, os valores referentes ao coeficiente de determinação e ao valor p são apresentados com recursos a uma escala cromática. Quanto ao R^2 , se o seu valor estiver entre zero e 0,4 apresenta a cor amarelo (modelo nada robusto), se estiver entre 0,50 e 0,74 apresenta a cor laranja (modelo pouco robusto) e caso o valor se encontre entre 0,75 e 0,84 apresenta a cor verde-claro (existência de correlação entre as variáveis). Por último, se o valor estiver entre 0,85 e 1 apresenta uma cor verde-escuro (modelo robusto, utilizável para previsão).

O valor p é exibido através de uma escala bicolor. Caso o seu valor seja inferior a 0,05 é apresentado na cor verde (existe significância estatística), por conseguinte se o valor for igual ou superior a 0,05 é apresentado na cor vermelha (não existe significância estatística).

Tabela 5.3 - Resumo dos ensaios relativos à secção de comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos

Ambiente acústico		Níveis sonoros Contínuos Equivalentes (dBA)						R ²	p
		Sonómetro			NoiseTube				
		L _{Aeq,1s} mínimo	L _{Aeq,1s} máximo	L _{Aeq}	L _{Aeq,1s} mínimo	L _{Aeq} máximo	L _{Aeq}		
Ruído ambiente	Ensaio 1	59,5	86,68	72,98	53	88	71,49	0,62	<0,05
	Ensaio 2	55,06	88,63	74,22	54	85	72,41	0,94	<0,05
Ruído de tráfego rodoviário	Ensaio 1	59,74	83,61	71,10	58	82	70,57	0,67	<0,05
	Ensaio 2	58,96	83,26	71,84	57	86	71,33	0,64	<0,05
Ruído de tráfego fluvial	Ensaio 1	60,08	95,97	71,98	59	89	77,18	0,04	<0,05
	Ensaio 2	61,74	92,45	72,12	62	88	80,90	0,00	≥0,05
Ruído de tráfego ferroviário superficial	Ensaio 1	51,37	90,81	76,27	51	87	74,94	0,85	<0,05
	Ensaio 2	53,42	88,72	77,09	53	88	76,65	0,92	<0,05
Ruído de tráfego ferroviário subterrâneo	Ensaio 1	51,43	85,59	71,45	52	84	70,37	0,94	<0,05
	Ensaio 2	50,64	88,36	75,99	51	85	75,23	0,97	<0,05
Ruído de tráfego aéreo	Ensaio 1	52,36	75,29	61,25	52	87	70,53	0,90	<0,05
	Ensaio 2	52,34	79,59	63,38	53	87	72,88	0,86	<0,05

5.2. Caracterização de diferentes ambientes acústicos de tráfego interiores

Para os ensaios realizados no âmbito desta secção, foi utilizado um único equipamento de medição: smartphone da marca HTC e modelo *Explorer* (onde foi instalada a aplicação móvel *NoiseTube*).

5.2.1. Tráfego rodoviário

No âmbito do tráfego rodoviário foram realizados dois tipos de análise, uma referente a transporte individual e outra relativa a transportes coletivos.

Quanto à primeira avaliação (transporte individual), as medições decorreram no dia 18 de Junho de 2013, num percurso realizado na cidade de Lisboa, entre as regiões Marquês de Pombal e Entrecampos. Os ensaios foram executados em diferentes condições de medição. No primeiro ensaio todos os vidros da viatura foram mantidos fechados, pelo contrário, durante o segundo e terceiro ensaios, os vidros da parte dianteira do veículo foram mantidos totalmente abertos.

Na Tabela 5.4 é apresentado o resumo relativo aos dois primeiros ensaios, realizados no âmbito do transporte individual. Estes ensaios decorreram entre as 16:02h e as 16:23h.

Tabela 5.4 - Resultados globais dos ensaios 1 e 2 relativos à avaliação de transporte individual, no âmbito da exposição a ruído no interior de veículos rodoviários

	Condição de medição	
	Vidros fechados	Vidros abertos
L_{Aeq,1s} mínimo (dBA)	47	56
L_{Aeq,1s} máximo (dBA)	71	77
L_{Aeq} (dBA)	57,01	67,56

É visível uma diferença significativa entre os níveis de exposição a ruído com os vidros da viatura abertos e com os vidros fechados. Quanto ao L_{Aeq} global a diferença é de aproximadamente 10 dBA, pelo que é legítimo confirmar que os vidros do automóvel constituem uma proteção contra o ruído.

Em ambas as situações existe interferência na comunicação, pois os valores L_{Aeq} são superiores a 35 dBA, limiar de ruído de fundo definido pela WHO para que possa haver uma clara compreensão do discurso. No entanto essa interferência é mais séria quando os vidros se encontram abertos, pois o L_{Aeq} assume um valor superior a 65 dBA, o que exige um maior esforço para que possa haver comunicação entre os passageiros (WHO, 1999). Esta interferência origina incómodo e *stress*, ou seja, os níveis sonoros verificados são passíveis de causar efeitos negativos sobre os cidadãos.

Considerando somente os níveis de ruído observados de modo isolado, eles constituem por si uma fonte de incómodo. Tendo em conta a relação exposição - resposta para tráfego rodoviário e o limiar definido pela WHO, acima de um nível de ruído de 55 dBA mais de 30% dos indivíduos expostos sentem-se incomodados (den Boer e Schroten, 2007).

Foi ainda determinada a percentagem de medições de L_{Aeq} que excedem o limiar definido pela WHO (70 dBA), a partir do qual existe o risco de danos na audição, em caso de exposição prolongada (WHO, 1999). Na circunstância em que os vidros do automóvel se encontravam fechados essa percentagem foi muito baixa (0,2 %), contudo na situação em que os vidros se encontravam abertos essa percentagem sofreu um aumento significativo (15,5 %).

O terceiro ensaio relativo a transporte individual decorreu entre 17:27h e as 17:38h e o seu resumo pode ser visualizado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Resultados globais do ensaio 3 relativo à avaliação de transporte individual, quanto à exposição a ruído no interior de veículos rodoviários

L_{Aeq,1s} mínimo (dBA)	55
L_{Aeq,1s} máximo (dBA)	79
L_{Aeq} (dBA)	67,14

Comparando os níveis sonoros obtidos nos ensaios dois e três, que decorreram nas mesmas condições de medição, não se observam diferenças significativas. Dado o terceiro ensaio ter sido executado num

período considerado “de ponta”, isto é, quando existe um maior volume de tráfego, podemos aferir que a exposição ao ruído é independente da hora do dia a que ocorre. Todavia esta conclusão é válida somente para o percurso analisado, em que o volume de tráfego é aproximadamente constante ao longo do período diurno.

Neste ensaio 11,1 % das medições excederam o limiar de 70 dBA, valor inferior ao obtido no segundo ensaio, próximo do obtido para o ensaio dois. Tendo em conta que somente uma pequena parte das medições excederam o limiar, podemos aferir que no interior do automóvel a exposição a ruído não implica um risco significativo de danos da audição.

Relativamente às avaliações a transportes coletivos, estas decorreram no dia 26 de Junho de 2013, entre as 8:26h e 8:50h e entre as 11:02h e as 11:22h, para o elétrico articulado. Neste tipo de transporte as medições foram executadas no percurso entre Cais de Sodré e Belém. No âmbito do autocarro os ensaios foram realizados a 2 de Julho de 2013, entre as 8:33h e 8:50h e entre as 12:34h e as 12:47h. As medições foram executadas ao longo do percurso entre o Centro Sul (Almada) e Marquês de Pombal (Lisboa).

Na Tabela 5.6 é apresentado o resumo referente aos ensaios realizados para transporte coletivo.

Tabela 5.6 - Resultados globais dos ensaios relativos às avaliações de transporte coletivo, no âmbito da exposição a ruído no interior de veículos rodoviários

	Sistema de transporte			
	Elétrico Articulado		Autocarro	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
L_{Aeq,1s} mínimo (dBA)	58	65	58	60
L_{Aeq,1s} máximo (dBA)	81	83	76	81
L_{Aeq} (dBA)	69,90	71,55	69,74	73,37

Quanto aos valores L_{Aeq, 1s} mínimo, é perceptível uma semelhança entre os diferentes sistemas de transporte. O valor mais elevado deste indicador ocorre no segundo ensaio do veículo elétrico articulado e deve-se à maior lotação de passageiros, o que origina uma subida dos níveis sonoros mínimos devido à conversação entre os mesmos.

O valor L_{Aeq,1s} máximo mais elevado está associado ao elétrico articulado e deve-se principalmente ao ruído gerado pelo motor, sistema de ventilação e ao facto de a sua locomoção dar-se sobre carris.

Analisando os valores L_{Aeq}, para ambos os sistemas, podemos constatar que existe uma aproximação entre eles. Em ambos os ensaios este indicador assume valores elevados, deste modo podemos aferir que a circulação no interior destes sistemas de transporte constitui uma fonte de incómodo e *stress*.

Na avaliação do veículo elétrico articulado verificou-se que no primeiro ensaio 27,4 % das medições excederam o limiar 70 dBA, enquanto no segundo ensaio essa excedência correspondeu a 52,5 % das medições. Por seu lado na avaliação do autocarro a percentagem de excedência foi maior, assumindo os valores de 34,6 % e 71,8 % para os ensaios um e dois, respetivamente. Podemos assim concluir que os níveis sonoros verificados nestes tipos de transporte podem constituir um risco de perda de audição devido ao ruído, junto dos cidadãos.

De entre os veículos analisados no âmbito do tráfego rodoviário, os níveis de ruído verificados no interior do autocarro constituem o maior risco, em caso de exposição prolongada.

5.2.2. Tráfego ferroviário

Foram executadas duas avaliações a diferentes sistemas de transporte ferroviário, uma relativa a metropolitano e outra referente a comboio.

No contexto do metropolitano, os ensaios decorreram no dia 20 de Junho de 2013, entre as 16:59h e as 17:11h e entre as 18:09h e as 18:20h. As medições foram efetuadas no percurso entre as estações Alameda e Oriente (inserido na Linha Vermelha da rede da Metro Lisboa). Quanto ao comboio, os ensaios decorreram no dia 26 de Junho de 2013, entre as 9:02h e 9:09h e entre as 11:37h e as 11:44h, no percurso entre Belém e Cais do Sodré (inserido na Linha de Cascais da CP).

Na Tabela 5.7 são apresentados os resultados relativos às avaliações de exposição a ruído no interior dos sistemas de transporte ferroviário.

Tabela 5.7 - Resultados globais dos ensaios relativos às avaliações de exposição a ruído no interior de veículos ferroviários

	Sistema de transporte			
	Metropolitano		Comboio	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
L_{Aeq,1s} mínimo (dBA)	59	57	60	60
L_{Aeq,1s} máximo (dBA)	90	89	85	80
L_{Aeq} (dBA)	79,85	81,04	67,47	69,54

Quanto ao indicador L_{Aeq, 1s} mínimo, em ambos os sistemas de transporte obtiveram-se níveis sonoros semelhantes. Estes valores são igualmente próximos dos obtidos para os sistemas de transporte coletivo rodoviário, analisados anteriormente.

Para o indicador L_{Aeq, 1s} máximo são identificadas diferenças grandes entre os dois sistemas de transporte ferroviário em análise. No metropolitano são atingidos níveis sonoros máximos mais elevados. O mesmo comportamento é verificado para o indicador L_{Aeq}.

Face aos resultados obtidos é possível afirmar que a circulação no interior de sistemas de transporte ferroviário origina incómodo e *stress* junto dos cidadãos. No entanto o metropolitano apresenta um maior potencial no âmbito da perda de audição devido a exposição prolongada a ruído. Em ambos os ensaios, referentes a esta avaliação foram obtidas percentagens elevadas de excedência do limiar 70 dBA (64,1 % no primeiro ensaio e 54,0 % no segundo ensaio). Na avaliação do comboio determinaram-se percentagens significativamente inferiores (5,3 % no primeiro ensaio e 29,8 % no segundo ensaio).

Desta forma podemos afirmar que a circulação no interior do metropolitano constitui um maior risco para os cidadãos, em caso de exposição prolongada.

5.2.3. Tráfego fluvial

Os ensaios realizados no interior de embarcações marítimas decorreram no dia 19 de Junho de 2013, entre as 9:05h e as 9:20h e entre as 9:23h e as 9:34h, no percurso entre as plataformas de embarque situadas em Cacilhas (Almada) e Cais do Sodré (Lisboa).

Na Tabela 5.8 é apresentado o resumo referente aos ensaios realizados no contexto desta avaliação.

Tabela 5.8 - Resultados globais dos ensaios relativos às avaliações de exposição a ruído no interior de uma embarcação marítima

	Ensaio 1	Ensaio 2
L_{Aeq,1s} mínimo (dBA)	65	67
L_{Aeq,1s} máximo (dBA)	90	87
L_{Aeq} (dBA)	76,93	79,31

Através da Tabela 5.8 podemos constatar que a circulação no interior deste tipo de tráfego implica uma exposição a níveis sonoros elevados, pois o nível mais baixo encontra-se próximo do limiar 70 dBA. Consequentemente o indicador L_{Aeq} possui valores elevados em ambos os ensaios. Podemos então afirmar que os níveis de ruído no interior de uma embarcação marítima, como a utilizada nas medições, são uma grande fonte de incómodo e *stress*.

A circulação no interior deste tipo de tráfego constitui igualmente um risco no que respeita a danos na audição, pois a percentagem de medições acima do limiar 70 dBA revelou-se muito elevada. No primeiro ensaio ocorreram excedência em 70,5 % das medições e no segundo ensaio o limiar foi ultrapassado em 90,3 % das medições. Desta forma os níveis associados a este tráfego constituem um risco elevado, mediante uma exposição prolongada.

5.3. Avaliação de diferentes estratégias de medição para mapeamento de ruído

Nos ensaios executados no contexto de mapeamento de ruído foi utilizado como equipamento de medição um smartphone da marca HTC e modelo *Explorer* (onde foi instalada a aplicação móvel *NoiseTube*).

5.3.1. Medições estáticas

No âmbito do mapeamento de ruído através de medições estáticas foram realizadas duas avaliações. Ambas decorreram em pontos pré-definidos, numa área de 100 m² na Praça do Rossio, em Lisboa.

Como resultado foram obtidos quatro mapas de ruído, dois dos quais com uma resolução espacial de 20 x 20 metros e associados a períodos de medição de um e cinco minutos. Os restantes dois mapas correspondem a uma resolução espacial de 50 x 50 metros e a períodos de medição de um e cinco minutos. Os pontos coloridos representam os locais de medição seleccionados, não se tendo procedido á sua interpolação, dado que o objetivo principal era avaliar a variabilidade das medições em pontos próximos, muitas vezes tidos como idênticos no que respeita aos níveis sonoros obtidos.

Nas Figuras 5.9 e 5.10 são apresentados os mapas relativos a medições de um e cinco minutos, respetivamente, com uma resolução espacial de 20 x 20 metros.



Figura 5.9 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 20 x 20 metros e baseado em medições de um minuto



Figura 5.10 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 20 x 20 metros e baseado em medições de cinco minutos

Nas Figuras 5.11 e 5.12 são exibidos os mapas relativos a medições de um e cinco minutos, respetivamente, com uma resolução espacial de 50 x 50 metros.



Figura 5.11 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 50 x 50 metros e baseado em medições de um minuto



Figura 5.12 - Mapa de ruído na Praça do Rossio, com uma resolução de 50 x 50 metros e baseado em medições de cinco minutos

Na Figura 5.13 é apresentado o excerto do Mapa de Ruído Global da Cidade de Lisboa onde se encontra a Praça do Rossio.



Figura 5.13 - Excerto do Mapa de Ruído Global da cidade de Lisboa, relativo ao período diurno-entardecer-noturno, que engloba a Praça do Rossio (Adaptado de CML, 2013)

Analisando os mapas quanto às diferentes resoluções espaciais, verifica-se que ambas são adequadas para o mapeamento. Os níveis sonoros obtidos situam-se no mesmo intervalo (entre 65 e 120 dBA). Contudo uma maior resolução espacial permite obter uma caracterização acústica mais adequada do local, por incluir um maior número de pontos de medição. Consequentemente uma resolução de 20 x 20 metros permite obter um mapa com detalhe mais aproximado do Mapa de Ruído da Cidade de Lisboa, resultado esperado uma vez que esta foi a malha utilizada na metodologia de mapeamento dos indicadores de ruído, a nível do município.

Tendo consciência que o Mapa de Ruído de Lisboa baseia-se no indicador L_{den} , ou seja, engloba um período de 24 horas e tem uma diferente metodologia de cálculo, a vantagem de medições isoladas simples é a de que conseguem captar diferenças que o mapa por modelação não considera.

Comparando os mapas de ruído de modo isolado, verifica-se que dentro da mesma resolução espacial existe uma diferença reduzida entre os valores L_{Aeq} obtidos com diferentes períodos de medição. Apesar de existirem pontos de medição que apresentam maiores disparidades entre o valor do indicador, nomeadamente na maior resolução espacial, de modo geral as diferenças não são significativas.

Podemos então concluir que provavelmente para uma área urbana, a resolução espacial mais adequada deverá ser de 20 x 20 metros.

5.3.2. Medições em movimento

Para avaliação dinâmica de níveis sonoros em termos espaciais, foram realizadas medições numa área de um quilómetro quadrado, circundante à Avenida da Liberdade. Durante o ensaio foram registados valores L_{Aeq} em intervalos de um segundo, enquanto a área era percorrida de forma pedonal.

Na Figura 5.14 é apresentado o mapa resultante do ensaio descrito. Cada ponto colorido assinalado no mapa está associado a um valor $L_{Aeq, 1s}$ registado pela aplicação móvel.

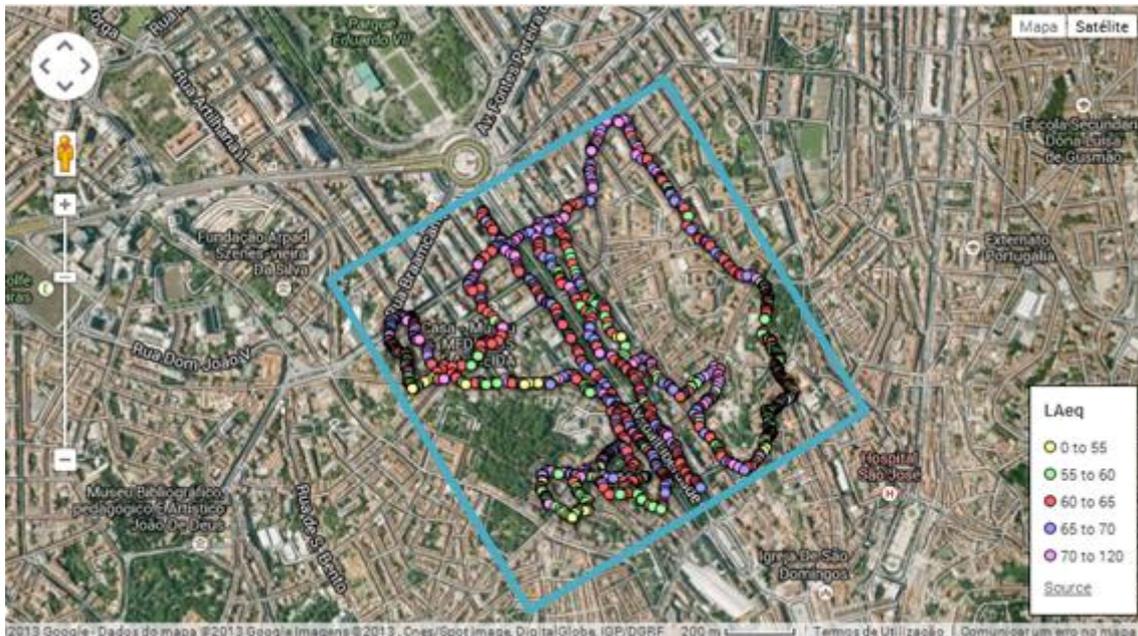


Figura 5.14 - Mapa de ruído de uma área urbana resultante de medições em movimento

Através da figura, podemos comprovar que é possível gerar um mapa de ruído a partir de conjuntos de medições em movimento. Analisando o mapa podemos identificar zonas onde foram registados níveis sonoros mais elevados, como por exemplo em plena Avenida da Liberdade. Nesta avenida a generalidade dos valores $L_{Aeq, 1s}$ observados situam-se no intervalo entre 60 e 70 dBA e resultam principalmente do tráfego rodoviário existente. Por outro lado em ruas adjacentes à Av. da Liberdade registam-se valores $L_{Aeq, 1s}$ inferiores, como seria de esperar.

6. Avaliação da participação dos cidadãos no sistema de monitorização

Nos dias 19 e 20 de Junho de 2013, foram realizados inquéritos em quatro locais de amostragem nos concelhos de Lisboa e Almada (Praça do Rossio, Saldanha, Parque das Nações – Lisboa; Praça S. João Baptista – Almada). A recolha de dados junto dos cidadãos teve como principais finalidades compreender a perceção da população a respeito do ruído ambiente e aferir a potencial participação da população num sistema de monitorização de ruído.

O inquérito, para além das secções destinadas a “Dados demográficos” e “Dados de caracterização”, possui ainda três secções distintas: “Perceção do ruído como problema ambiental”, “Importância da participação pública” e “Participação pública na monitorização do ruído”. A estrutura do inquérito encontra-se no Anexo 1.

6.1. Considerações gerais e caracterização

Como mencionado no capítulo 3 (Metodologia), a população-alvo do inquérito eram cidadãos residentes em zonas urbanas. Deste modo foram selecionados pontos de amostragem em dois centros urbanos, inseridos nas cidades de Lisboa e Almada.

Foi obtido um total de 73 respostas, onde 51% dos inquiridos pertencem ao sexo feminino e os restantes 49% pertencem ao sexo masculino.

A faixa etária com maior representatividade pertence à classe entre os 18 e os 29 anos (51%), seguido da categoria entre os 30 e 49 anos (34%). No que respeita a habilitações literárias, 45% dos inquiridos possuem uma formação a nível do ensino secundário e 41% possui uma formação académica superior (29% “Licenciatura” e 12% “Mestrado/Pós-graduação”).

Quanto ao local de residência dos inquiridos, foram abrangidos diversos concelhos da Área Metropolitana de Lisboa. Os municípios mais representados foram Lisboa (41%), Almada (19%), Loures, Seixal e Vila Franca de Xira (5%). O local de trabalho da maioria dos inquiridos situa-se no município de Lisboa (77%), seguido do município de Almada (14%). Importa referir que 5% dos inquiridos são pensionistas/desempregados.

Uma vez que a participação no sistema de monitorização implica a utilização de um *smartphone*, foi necessário realizar um levantamento de dados quanto à tipologia do telemóvel dos inquiridos, ou seja, se possuíam ou não um *smartphone*: 49% dos inquiridos afirmaram possuir esse equipamento, dos quais 78% têm por hábito utilizar aplicações móveis no seu equipamento.

Algumas das questões presentes no inquérito solicitavam ao inquirido que assinalasse uma opção numa escala de 1 a 5, onde 1 representa “nada relevante/muito baixo” e 5 “muito importante/muito elevado”.

6.2. Percepção do ruído como problema ambiental

Esta secção destina-se à avaliação da percepção do público quanto ao facto de o ruído ambiente constituir um problema ambiental e em que medida pode influenciar a sua saúde. Por último era solicitado aos inquiridos que avaliassem o nível de ruído a que são expostos na sua zona de residência, na sua zona de trabalho e na deslocação casa/trabalho. Em todas as questões os inquiridos deram a sua avaliação através de uma escala de 1 a 5.

Quanto à percepção do ruído como problema ambiental, 49% dos inquiridos classificou o ruído ambiente um problema ambiental relevante (nível “4”) e 29% dos inquiridos classificaram-no como um problema ambiental grave (nível “5”) (Figura 6.1).

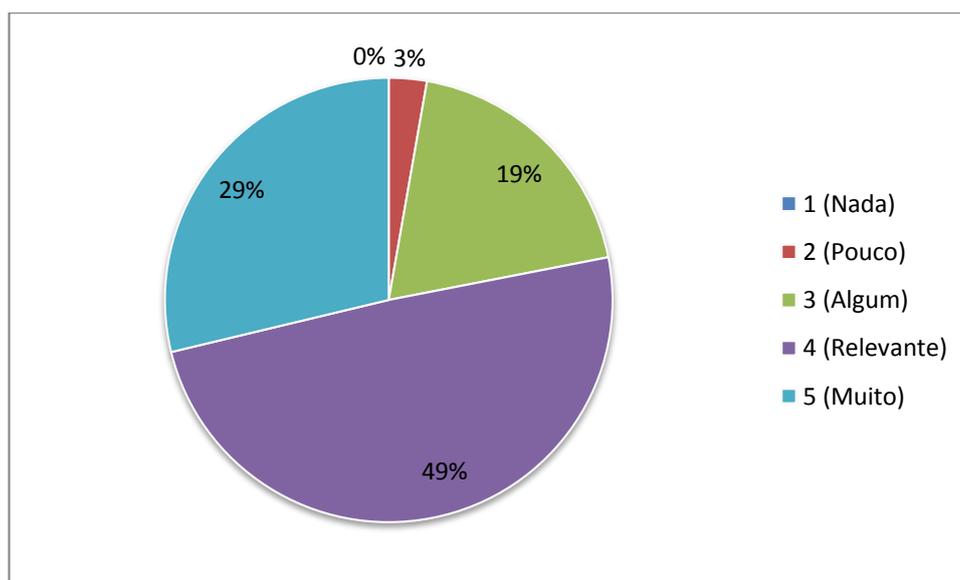


Figura 6.1 - Percepção da gravidade do ruído ambiente como problema ambiental

No que se refere à influência que o ruído ambiente pode exercer na saúde, 81% dos inquiridos (47% nível “4” e 34% nível “5”) reconhecem o risco associado à exposição excessiva a ruído (Figura 6.2).

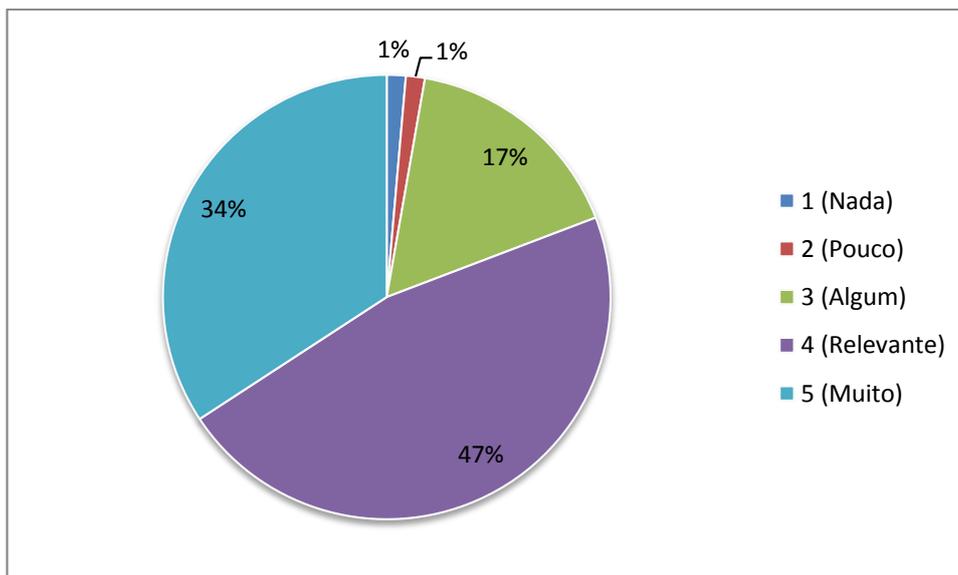


Figura 6.2 - Percepção da influência do ruído ambiente na saúde

Quanto à avaliação da exposição ao ruído, 34% dos inquiridos declararam que na sua área de residência estão expostos a algum ruído (nível “3”) e somente 12% dos inquiridos afirmaram estarem expostos a um nível de ruído muito elevado (nível “5”) (Figura 6.3). Dentro do grupo de inquiridos que possui uma situação de empregabilidade ativa, 29% afirmaram estarem expostos a algum ruído (nível “3”), na área do seu local de trabalho e 12% dos inquiridos declararam estarem expostos a um nível muito elevado de ruído (nível “5”). Por fim no que respeita à exposição a ruído na deslocação casa/emprego, grande parte dos inquiridos (41%) consideram estarem expostos a um nível de ruído relevante (nível “4”).

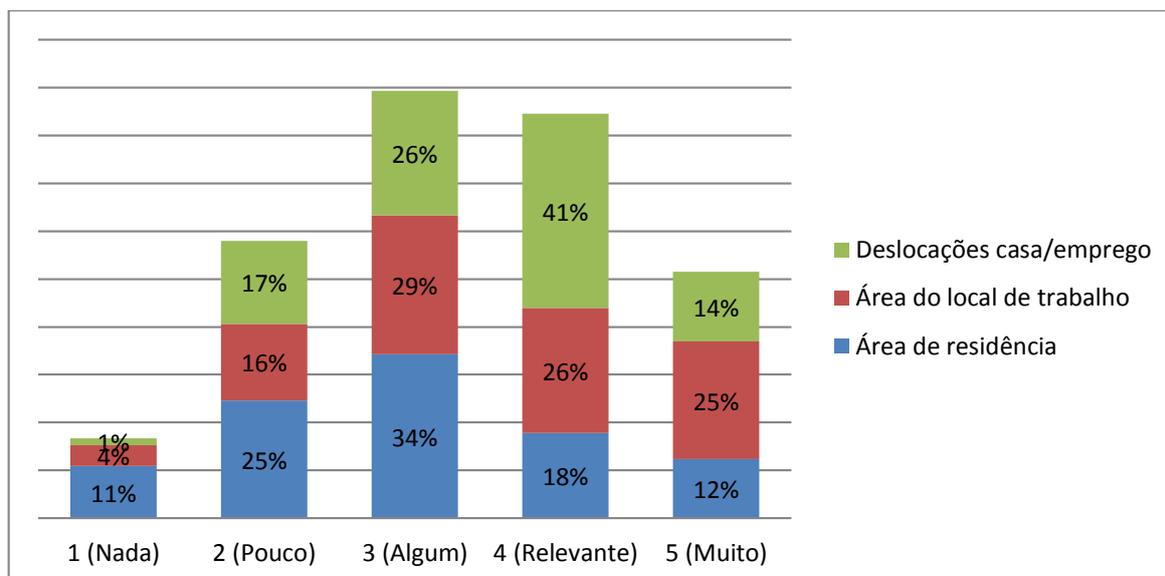


Figura 6.3 - Avaliação do nível de exposição ao ruído, em diferentes ambientes

6.3. Importância da participação pública

Nesta secção pretendia-se analisar qual a importância que os inquiridos atribuem à participação pública na gestão ambiental e particularmente na monitorização de parâmetros ambientais.

Quando questionados acerca da participação pública na resolução de problemas ambientais, 74% dos inquiridos atribuiu uma classificação de relevante/muito importante (36% nível “4” e 38% nível “5”) (Figura 6.4).

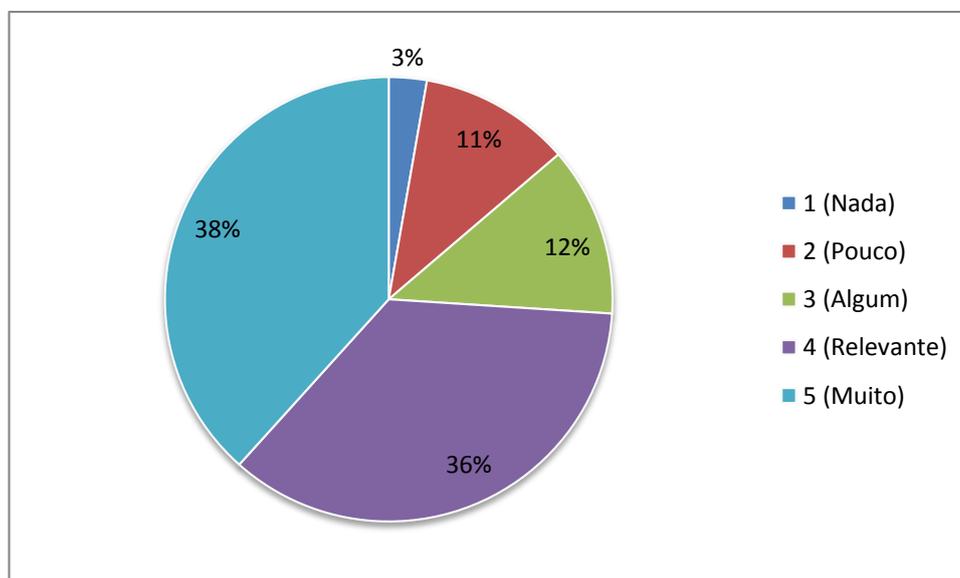


Figura 6.4 - Avaliação da importância da participação pública na resolução de problemas ambientais

No entanto, quanto ao seu anterior envolvimento em projetos ambientais, apenas 23% dos inquiridos responderam de forma positiva.

Relativamente à participação dos cidadãos na monitorização de parâmetros ambientais, 41% dos inquiridos considerou ser bastante vantajosa (nível “5”) e apenas 5% considerou não ser vantajosa/pouco vantajosa (1% nível “1” e 4% nível “2”) (Figura 6.5).

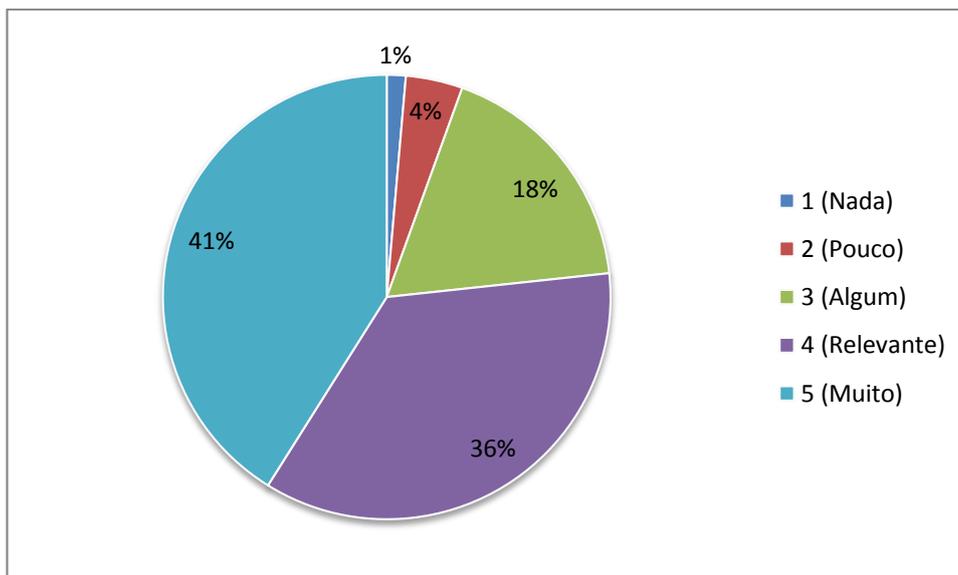


Figura 6.5 - Avaliação da vantagem da participação dos cidadãos na monitorização de parâmetros ambientais

Caso a classificação atribuída pelos inquiridos fosse igual ou superior ao nível “2”, era-lhes solicitado que enunciassem vantagens dessa participação, através de resposta aberta. Por forma a facilitar a análise dos resultados, as repostas foram englobadas em sete categorias: “Maior informação sobre o estado do ambiente”, “Maior acessibilidade a dados ambientais”, “Influenciar a tomada de decisão a nível local”, “Ajudar a identificar situações de risco”, “Aumento da quantidade de dados existentes”, “Contribuição para a melhoria do estado do ambiente” e “Não respondeu/Não sabia”. As vantagens referidas com maior frequência foram “Contribuição para a melhoria do estado do ambiente” (39%) e “Maior informação sobre o estado do ambiente” (23%) (Figura 6.6).

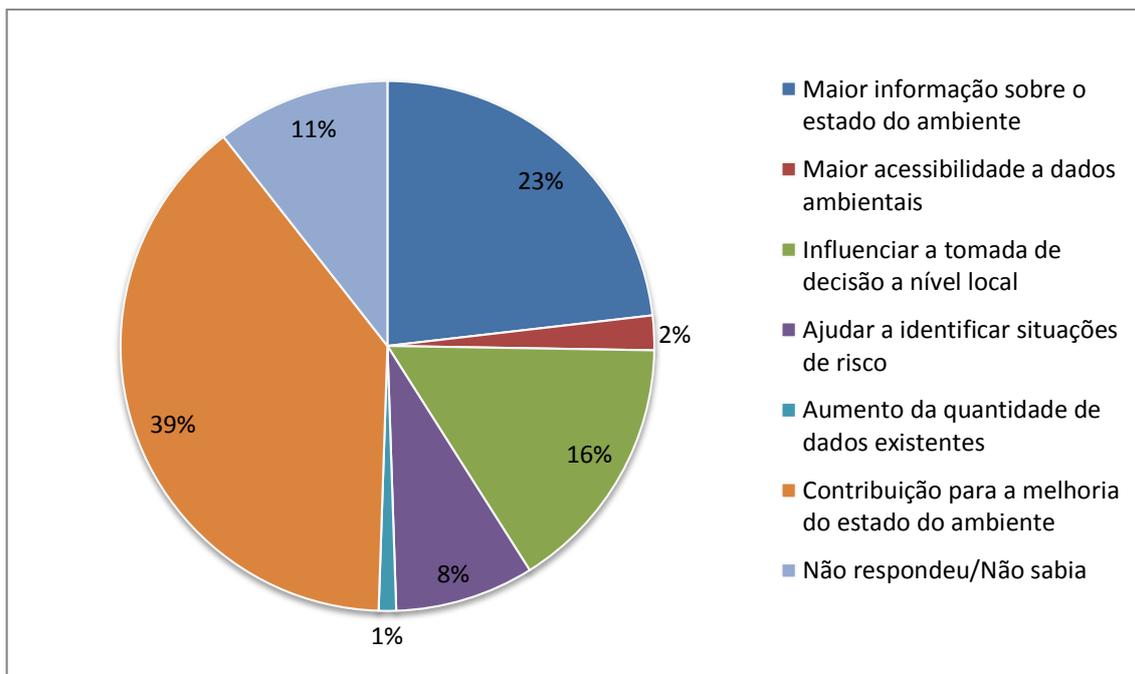


Figura 6.6 - Vantagens da participação dos cidadãos na monitorização de parâmetros ambientais

6.4. Participação pública na monitorização do ruído

Com esta secção pretendia-se avaliar a predisposição dos cidadãos para participarem de forma ativa na monitorização do ruído.

Aos inquiridos foi apresentado um cenário no qual através do seu telemóvel poderiam medir os níveis sonoros a que são expostos, no seu quotidiano, disponibilizando posteriormente esses dados na *internet* para consulta pública. Quando interrogados a respeito da sua disposição para participar em tal tarefa, 84% dos inquiridos respondeu de forma positiva.

Por forma a avaliar a motivação advinda da existência de um incentivo associado à participação nas tarefas mencionadas, foi solicitado aos inquiridos que classificassem essa mesma motivação. 30% dos inquiridos considera algo motivador a existência de um incentivo (nível “3”) e 16% estariam dispostos a participar sem qualquer incentivo (nível “1”) (Figura 6.7).

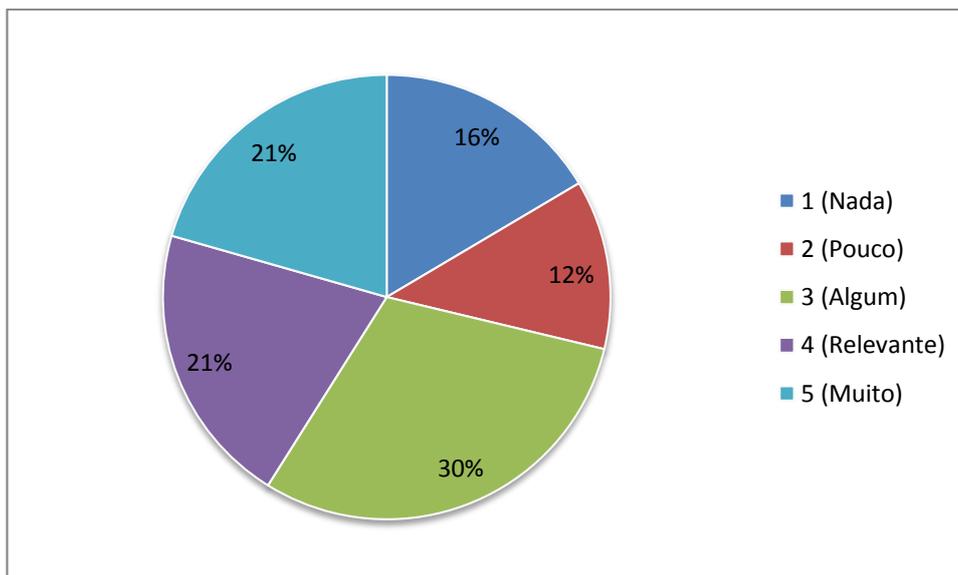


Figura 6.7 - Avaliação da motivação exercida pela existência de um incentivo para a participação dos cidadãos

6.5. Avaliação da independência das variáveis (Teste Qui-Quadrado)

A percepção dos impactos negativos do ruído ambiente sobre a saúde e o bem-estar da população é caracterizada pela sua subjetividade, ou seja, varia dentro da população, dependendo dos valores sociais e culturais de cada indivíduo. A mesma subjetividade está associada à participação dos cidadãos na monitorização do ruído. Por estas razões procedeu-se ao cruzamento de algumas das variáveis presentes nos inquéritos, para assim averiguar a existência de dependência ou não entre elas. Através de tabelas de contingência e da sua interpretação, é possível aferir se as variáveis cruzadas são dependentes ou independentes, entre si. Adicionalmente, este método permite verificar a robustez dos resultados provenientes dos inquéritos realizados.

As variáveis cruzadas correspondem às questões:

- “Idade” vs. “Em que grau considera que o ruído constitui um problema ambiental?”
- “Habilitações literárias” vs. “Em que grau considera que o ruído constitui um problema ambiental?”
- “Habilitações literárias” vs. “Em que grau considera que o ruído pode influenciar a sua saúde”
- “Habilitações literárias” vs. “Que importância atribui à participação pública na resolução de problemas ambientais?”
- “Idade” vs. “Já se envolveu em projetos ambientais de cariz comunitário?”
- “Idade” vs. “Estaria disposto a participar em algo semelhante?”
- “Habilitações literárias” vs. “Estaria disposto a participar em algo semelhante?”
- “Habilitações literárias” vs. “Em que grau considera ser motivador receber algum tipo de incentivo para participar no sistema descrito?”
- “Idade” vs. “Possui um *smartphone*?”

De modo a avaliar a robustez dos dados dos inquiridos e verificar se existe dependência ou independência entre as variáveis enunciadas, realizaram-se diversos testes de Qui-Quadrado (com $\alpha=0,05$), uma vez que se tratam de classes nominais e a distribuição é desconhecida. A Tabela 6.1 apresenta um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 6.1 - Avaliação da independência entre variáveis

Variável A	Variável B	<i>p</i>	Dependente ou Independente?
Ruído como problema ambiental	Idade	0,545	Independente
Ruído como problema ambiental	Habilitações literárias	0,671	Independente
Influência do ruído sobre a saúde	Habilitações literárias	0,151	Independente
Importância da participação pública	Habilitações literárias	0,143	Independente
Envolvimento em projetos ambientais	Idade	0,793	Independente
Participação no sistema de monitorização	Idade	0,393	Independente
Participação no sistema de monitorização	Habilitações literárias	0,189	Independente
Motivação exercida por um incentivo	Habilitações literárias	0,404	Independente
Possuir um <i>smartphone</i>	Idade	0,623	Independente

Como se pode verificar, as variáveis “Idade” e “Habilitações literárias” não apresentam qualquer dependência face às restantes variáveis.

6.6. Discussão dos resultados

Os resultados obtidos após o tratamento dos dados vão de encontro ao esperado. Os cidadãos reconhecem que o ruído ambiente constitui um problema que os afeta, nomeadamente a nível da sua saúde. Isto é, o ruído é considerado um fator passível de provocar efeitos negativos no bem-estar da população.

As deslocações para o emprego e a área onde essa atividade é exercida representam a maior contribuição para os níveis de ruído a que os cidadãos são expostos habitualmente. Estes factos são consequência de grande parte da população trabalhar em centros urbanos, apesar de residir em zonas periféricas (mais sossegadas). A maior exposição associada a deslocações deve-se aos níveis de ruído gerados principalmente pelo tráfego.

É reconhecido o papel essencial da participação pública na gestão ambiental. Apesar do baixo envolvimento em projetos ambientais, os indivíduos consideram ser vantajoso um envolvimento ativo em questões ambientais, como é o caso da monitorização de determinados parâmetros ambientais. Reconhecem que essa participação tem como principais vantagens a melhoria do estado do ambiente e uma maior informação. No entanto, aquando da realização dos inquiridos foi perceptível, em alguns inquiridos, uma certa descrença quanto à eficiência da participação pública. Ou seja, alguns indivíduos sentem que a sua participação não possui qualquer efeito na resolução de problemas. Podemos desta

forma assumir que essa noção tem como consequência o menor reconhecimento de que uma participação mais ativa possa influenciar a tomada de decisão. Assim é necessário demonstrar à população os resultados obtidos com a sua participação para que esta seja maior e mais frequente.

No que respeita à monitorização do ruído ambiente, os indivíduos mostraram-se na sua maioria, recetivos à ideia de despendem algum esforço e tempo à disponibilização de dados. Contudo é necessário alguma cautela na análise destes resultados, pois devido à simplicidade da questão inserida no inquérito, não é perceptível se os inquiridos estariam dispostos a participar de forma contínua ou apenas ocasional. Caso tivesse sido questionado se tal participação ocorreria de forma contínua é possível que a percentagem de respostas positivas fosse menor. Outro aspeto a considerar, face a comentários por parte de alguns dos inquiridos é que uma participação em maior escala estaria dependente de uma automatização das tarefas de medição/disponibilização de dados. Ou seja, a participação seria maior caso implicasse um menor esforço por parte dos cidadãos.

Podemos concluir que a implementação do sistema de monitorização seria viável pois foram obtidas percentagens elevadas quanto à detenção de *smartphones* e à utilização frequente de aplicações móveis. Juntamente com a recetividade dos cidadãos em participarem nas tarefas de monitorização, verifica-se que existem condições para uma implementação bem-sucedida do sistema descrito, em relação ao número de potenciais utilizadores.

Os testes de Qui-Quadrado, realizados com o objetivo de avaliar a robustez dos dados, permitiram verificar que não existe dependência entre diversas variáveis. Ou seja, a perceção do ruído como um grave problema ambiental não está dependente da idade dos indivíduos nem das suas habilitações literárias. O mesmo sucede com a perceção dos efeitos negativos que o ruído possui sobre a saúde e sobre a importância da participação pública.

Deste modo podemos concluir que o nível de conhecimento e a preocupação existente não resultam de uma maior formação académica. O que significa que existe uma maior informação sobre a temática do ruído, junto da população.

A participação no sistema de monitorização não se encontra dependente da idade nem das habilitações dos indivíduos. A mesma relação é verificada entre a posse de um *smartphone* e a idade dos indivíduos. Por esta razão não é possível traçar o que seria o perfil típico de um utilizador do sistema. Isto é, prevê-se que a implementação do sistema resultaria numa grande heterogeneidade de utilizadores. Algo que pode ser considerado positivo uma vez que permitiria abranger uma maior variedade de ambientes acústicos.

7. Conclusões, limitações e desenvolvimentos futuros

7.1. Síntese conclusiva

Com esta dissertação pretendeu-se avaliar a utilização de um *smartphone* na monitorização de ruído ambiente, nomeadamente através de uma aplicação móvel e a integração da mesma num sistema de monitorização cuja finalidade é envolver os cidadãos na recolha de dados de níveis sonoros.

Apesar de serem já reconhecidos os efeitos adversos da exposição a níveis de ruído excessivos, continua a ser dada pouca atenção ao problema da poluição acústica por parte das entidades oficiais. Portugal encontra-se em incumprimento no que respeita à elaboração de mapas de ruído e planos de redução de ruído municipais. O envolvimento da população na monitorização do ruído ambiente permite colmatar também a falta de dados de campo que permitam uma caracterização acústica dos concelhos.

O recurso a voluntários para a realização de tarefas de monitorização possibilita-lhes um maior contacto com os problemas ambientais em causa, bem como a participação no desenvolvimento de estratégias de atuação. Por outro lado, permite aumentar a cobertura espacial e temporal da recolha de dados em resultado do aumento de recursos (esforço e tempo disponibilizado pelos voluntários). Esta participação potencia igualmente maior confiança nas decisões tomadas pelas entidades oficiais, dado envolver uma contribuição da população. Neste contexto, porém, estão inerentes desvantagens, sendo as principais a menor credibilidade dos dados por estes terem sido recolhidos por indivíduos não técnicos e a difícil comparabilidade com dados recolhidos por entidades oficiais. Desta forma é importante realizar sessões de treino de voluntários e uniformizar métodos de recolha.

O surgimento dos *smartphones* originou novas oportunidades no que respeita à monitorização ambiental. Por conter diversos sensores incorporados e ser um equipamento bastante disseminado pela população, revela características ideais para ser utilizado como sensor móvel. As principais vantagens desta forma de sensoriamento são a redução de custos, dado os *smartphones* serem menos dispendiosos que equipamentos profissionais, e a maior cobertura espaciotemporal, em comparação com redes de monitorização de entidades oficiais.

O sistema de monitorização apresentado nesta dissertação insere-se na categoria de sensoriamento móvel participativo, uma vez que assenta na participação ativa dos cidadãos na recolha de dados. Contudo, a implementação deste tipo de sistemas implica ultrapassar alguns desafios: são necessárias estratégias de recrutamento e retenção de utilizadores, pois é necessário atingir uma massa crítica de voluntários para que o sistema possa cumprir a sua finalidade. Outra condição essencial passa por assegurar a qualidade dos dados, para que estes sejam fiáveis.

No âmbito deste trabalho foi utilizada a aplicação móvel *NoiseTube*, associada ao sistema operativo *Android*. A sua utilização foi testada em diferentes contextos: como tal foram realizados 30 ensaios (em diferentes ambientes acústicos) por forma a avaliar o seu desempenho em diversas vertentes.

Aquando da realização de ensaios em ambientes acústicos exteriores foram registados níveis sonoros elevados, associados aos diferentes tipos de tráfego assim como ao ruído ambiente. Na generalidade dos ambientes acústicos avaliados foram medidos níveis sonoros contínuos equivalentes médios acima dos 70 dBA. Assim, os níveis sonoros detetados revelam-se elevados e acima dos valores estabelecidos pela legislação, especificamente no Regulamento Geral de Ruído.

Quanto à sua exatidão, de um modo geral foram obtidas diferenças inferiores a 4 dBA entre os níveis sonoros medidos com o sonómetro e a aplicação móvel, nos ensaios realizados. Face a tais resultados é possível assegurar que a aplicação *NoiseTube* é adequada para a realização de medições de níveis sonoros para o tipo de utilização pretendida, nomeadamente, em ambientes acústicos no interior de diversos modos de transporte e em determinados ambientes acústicos exteriores, tais como ruído ambiente e ruído associado aos tráfegos rodoviário, ferroviário e aéreo. Dentro dos intervalos de níveis sonoros testados, foram recolhidos dados que possuem na sua maioria uma relação linear robusta (com 95% de confiança) com os dados obtidos através de um sonómetro.

No caso do ruído ambiente, uma análise de propagação de erro entre a aplicação e o sonómetro em função do tempo de medição considerado, permitiu verificar que o erro para períodos mais extensos se reduz, mas de forma insignificante. A principal limitação associada à utilização da aplicação móvel é a deturpação dos níveis de ruído medidos quando se verificam velocidades de vento moderadas a elevadas - ao contrário de um sonómetro profissional, o *smartphone* não possui qualquer atenuador de vento que permite limitar a influência do vento na leitura dos níveis sonoros.

Quanto à avaliação de ambientes acústicos interiores, verificou-se um maior risco para os cidadãos em caso de exposição prolongada, na circulação em autocarro, metropolitano e barco (cacilheiro) - nestes sistemas de transporte constatou-se uma maior percentagem de excedência, em relação ao limiar definido pela WHO, a partir do qual existe o risco de danos na audição, em caso de exposição prolongada (70 dBA).

Os resultados alcançados com a realização de inquéritos foram de encontro ao esperado, ou seja, a população reconhece o ruído como um grave problema ambiental com efeitos adversos na sua saúde. As deslocações entre a residência e o emprego, assim como o período laboral representam as situações quotidianas em que os cidadãos sentem exposições a níveis de ruído mais elevados. Quanto à sua participação na monitorização do ruído, grande parte dos inquiridos revelaram disponibilidade para se envolverem no sistema (84%); porém, não foi possível aferir se esse envolvimento seria contínuo ou esporádico. Não obstante, é possível considerar que o sistema é viável quanto à existência de um número suficiente de utilizadores. Tal é demonstrado pela percentagem significativa de inquiridos que possuem um *smartphone* (49%), entre os quais se verifica uma elevada utilização de aplicações móveis (78% dos inquiridos que possuem um *smartphone*). Todavia, para uma implementação bem-

sucedida do sistema descrito é importante que a tarefa de transferência de dados de níveis sonoros seja mais expedita para que implique um menor esforço por parte dos utilizadores.

7.2. Limitações e desenvolvimentos futuros

Face à limitação de tempo e recursos disponíveis, não foi possível realizar um maior número de ensaios para a caracterização de ambientes acústicos e produção de mapas de ruído. Um maior número de ensaios seria desejável de modo a obter um maior número de dados e consequentemente maior robustez de resultados. Idealmente, alguns dos ensaios realizados deveriam ter sido executados em condições mais favoráveis, principalmente no que respeita à velocidade de vento (fator com maior influência nas medições). Todavia, dado o número de ambientes acústicos a avaliar e a limitação de tempo existente para a sua execução, tal não viria a ser possível.

Dada a finalidade do sistema apresentado ser a monitorização do ruído ambiente em todo o território nacional, a situação ideal seria a avaliação da participação dos cidadãos em diversos pontos do país, dado que avaliação efetuada teve uma cobertura geográfica reduzida face às limitações existentes.

Desenvolvimentos futuros poderão passar pela criação de uma solução de automatização para a tarefa de disponibilização de dados de medição de ruído e posterior utilização na determinação das políticas nesta área do ambiente. De forma mais específica, seria interessante também testar a funcionalidade de todo o sistema no terreno, ou seja, realizar uma campanha de medição com um grupo de voluntários onde as várias componentes de recolha, transmissão e utilização de dados pudessem estar presentes.

8. Referências bibliográficas

- 52°North (2013a). *OpenNoiseMap*. Através da URL: <https://wiki.52north.org/bin/view/SensorWeb/OpenNoiseMap>. Consultado a 13 de Junho de 2013.
- 52°North (2013b). *NoiseDroid - Google Play*. Através da URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.noisedroid&hl=pt_PT. Consultado a 13 de Junho de 2013.
- Abdelzaher, T., Anokwa, Y., Boda, P., Burke, J., Estrin, D., Guibas, L., Kansal, A., Madden, S., Reich, J. (2007). Mobiscopes for Human Spaces. *Pervasive Computing*, **6** (2), 20 – 29.
- Alam, S. M., Eang, L. S., Tan, A., Tiong, T. S. (2010). An investigation of community noise in high-rise residential environments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **127** (6), p 3511-3518.
- APA (2013). *ONU - Convenção de Arhus*. Através da URL: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=142&sub2ref=726&sub3ref=727>. Consultado a 30 de Maio de 2013.
- Arnstein, S.R. (1969). A Ladder of Citizen Participation. *Journal of the American Planning Association*, **35** (4), 216-224.
- Bailey, A., Ngwenyama, O. (2011). The challenge of e-participation in the digital city: Exploring generational influences among community telecentre users. *Telematics and Informatics*, (28), 204–214.
- Bies, D. A. e Hansen, C. H. (2009). *Engineering Noise Control - Theory and Practice* (4^o Edition), Spon Press, Inglaterra.
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., and Wilderman, C. C. (2009). Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education - A CAISE Inquiry Group Report. Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE). EUA.
- Bonney, R., Cooper, C.B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K.V., Shirk, J. (2009). Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience*, **59** (11), 977-984.
- Bosch, O. J. H., Allen, W. J., Gibson, R. S. (1996). Monitoring as an integral part of management and policy making. In: *Proceedings of symposium on resource management: issues, visions, practice*, Nova Zelândia, 5-8 de Julho Julho, Lincoln University, 12-21.
- Boy, A. (2013). *Sound Meter (ver 1.5) manual - Android boy's Lab*. Através da URL: <http://androidboy1.blogspot.pt/2010/11/smart-sound-ver-10-manual.html>. Consultado a 11 de Junho de 2013.
- Brons, M., Nijkamp, P., Pels, E., Rietveld, P. (2003). Railroad noise: economic valuation and policy. *Transportation Research Part D*, **8**, 169–184.
- BSB.BZ (2013). *deciBel Screenshots*. Através da URL: <http://www.bsb.bz/node/7>. Consultado a 12 de Junho de 2013.
- Budhathoki, N. R. (2010). Participants' motivations to contribute geographic information in an online community. University of Illinois, EUA.
- Campbell, R., Al-Muhtadi, J., Naldurg, P., Sampemane, G., Mickunas, M. D. (2002). Towards security and privacy for pervasive computing. *Software Security — Theories and Systems*, **2609**, 1-15.
- Chicoine, G. (1996). CitizenScientist Partnerships: A Step Toward Community-Based Environmental Management?. Dalhousie University. Nova Escócia, Canadá.

Christin, D., Reinhardt, A., Kanhere, S. S., Hollick, M. (2011). A survey on privacy in mobile participatory sensing applications. *The Journal of Systems and Software*, **84**, 1928– 1946.

COMMON-Sense Net (2013). *About COMMON-Sense Net*. Através da URL: <http://www.commonssensenet.in/about.html>. Consultado a 3 de Julho de 2013.

Conrad, C. T. e Daoust, T. (2008). Community-Based Monitoring Frameworks: Increasing the Effectiveness of Environmental Stewardship. *Environmental Management*, **41**, 358–366.

Constantinides, E., Fountain, S. J. (2008). Web 2.0: Conceptual foundations and marketing issues. *Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice*, **9**, 231–244.

Daniel, E. (2007). Noise and Hearing Loss: A Review. *Journal of School Health*, **77** (5), 225-231.

Danielsen, F., Burgess, N. D., Balmford, A., Donald, P. F., Funder, M., Jones, J. P. G., Alviola, P., Balete, D. S., Blomley, T., Brashares, J., Child, B., Enghoff, M., Fjeldså, J., Holt, S., Hübertz, H., Jensen, A. E., Jensen, P. M., Massao, J., Mendoza, M. M., Ngaga, Y., Poulsen, M. K., Rueda, R., Sam, M., Skielboe, T., Stuart-Hill, G., Topp-Jørgensen, E., Yonten, D. (2008). Local Participation in Natural Resource Monitoring: a Characterization of Approaches. *Conservation Biology*, **23** (1), 31–42.

Davis, M. L., Cornwell, D. A. (1998). *Introduction to Environmental Engineering* (3rd Edition), WCB/McGraw-Hill, EUA.

Decreto-Lei nº 146/2006. Diário da República, 1^a série – Nº 146 - 31 de Julho de 2006.

Decreto-Lei nº 9/2007. Diário da República, 1^a série - N.º 12 - 17 de Janeiro de 2007.

Directiva 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 189, 2002.

D'Hondt, E. (2013a). eldhondt@vub.ac.be, Mobile application NoiseTube, 18 de Junho de 2013 às 12:40.

D'Hondt, E. (2013b). eldhondt@vub.ac.be, Mobile application NoiseTube, 19 de Agosto de 2013 às 10:48.

EC (2010). Eurobarometer 73.3 - Electromagnetic Fields. *European Commission*, Bélgica.

EEA (2013a). *Noise Meter – Google Play*. Através da URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tsystems.humanSensor&feature=search_result#?t=W251bGwsMSwXLDEslmNvbS50c3lzdGVtcy5odW1hbNlbnNvciJd. Consultado a 12 de Junho de 2013.

EEA (2013b). *NoiseWatch – iTunes Preview*. Através da URL: <https://itunes.apple.com/us/app/noise-meter-eoe/id486395795?mt=8>. Consultado a 12 de Junho de 2013.

EEA (2013c). *Noise Meter – Windows Phone*. Através da URL: <http://www.windowsphone.com/en-gb/store/app/noise-meter/c68f7156-9c86-480b-a44e-87ba6b5639f1>. Consultado a 12 de Junho de 2013.

EPA (2011). Guidance Note for Strategic Noise Mapping. *Environmental Protection Agency*, Irlanda.

European Communities (2003). Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement. WG Railway Noise of the European Commission, Bélgica.

Eurostat (2013a). Proportion of population living in households considering that they suffer from noise. Através da URL: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdph390>. Consultado a 30 de Junho de 2013.

Eurostat (2013b). *Internet use and activities*. Através da URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=isoc_bde15cua&lang=en. Consultado a 15 de Junho de 2013.

FCT/UNL (2013). *Medições de ruído em Lisboa*. Através da URL: <http://www.dcea.fct.unl.pt/noticias/2013/02/medicoes-de-ruído-em-lisboa>. Consultado a 15 de Julho de 2013.

Foote, K. E., Lynch, M. (1995). *Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions*. Através da URL: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/intro/intro.html>. Consultado a 3 de Junho de 2012)

Gollan, J., Bruyn, L. L., Reid, N., Wilkie, L. (2012). Can Volunteers Collect Data that are Comparable to Professional Scientists? A Study of Variables Used in Monitoring the Outcomes of Ecosystem Rehabilitation. *Environmental Management*, **50** (5), 969-978.

Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, **69**, 211–221.

Google (2013a). *About Fusion Tables*. Através da URL: <https://support.google.com/fusiontables/answer/2571232?hl=pt-PT>. Consultado a 16 de Junho de 2013.

Google (2013b). *Satellite and Map views*. Através da URL: <https://support.google.com/maps/answer/144341?hl=en&topic=1687286&ctx=topic>. Consultado a 19 de Junho de 2013.

Gouveia, C., Fonseca, A., Câmara, A., Ferreira, F. (2004). Promoting the use of environmental data collected by concerned citizens through information and communication technologies. *Journal of Environmental Management*, **71**, 135–154.

Gouveia, C. e Fonseca, A. (2008). New approaches to environmental monitoring: the use of ICT to explore volunteered geographic information. *GeoJournal*, **72**, 185–197.

Guedes, I. C. M., Bertoli, S. R., Zannin, P. H. T. (2011). Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju — Brazil. *Science of the Total Environment*, **412-413**, 66–76.

HCN (1993). *Noise and Health*. Health Council of the Netherlands.

Healthwise Staff (2012). *Middle Ear*. Através da URL: <https://myhealth.alberta.ca/health/pages/conditions.aspx?hwid=tp12444>. Consultado a 30 de Junho de 2013.

Hear for Life (2013). *Understanding Hearing Loss*. Através da URL: http://www.hearforlife.ca/resources/article/understanding_hearing_loss. Consultado a 30 de Junho de 2013.

Hess, B., Farahani, A. Z., Tschirschnitz, F., von Reischach, F. (2012). Evaluation of Fine-Granular GPS Tracking on Smartphones. In: *Proceedings of the First ACM SIGSPATIAL International Workshop on Mobile Geographic Information Systems*, EUA, 6 de Novembro, ACM, 33-40.

Houghton, J. (2009). ICT and the Environment in Developing Countries: An Overview of Opportunities and Developments. *Communications and Strategies*, **76**, 39-60.

IA (2004). *O ruído e a cidade*. Instituto do Ambiente, Lisboa (adaptação da publicação francesa intitulada “Le bruit et la ville” – Ministère de l’Équipement et de L’Aménagement du Territoire, Janvier 1978).

IAMSE (2013). *A Definition of Mobile Computing*. Através da URL: http://www.iamse.org/conf/conf6/proceedings/jackson_slides.htm. Consultado a 3 de Junho de 2013.

IAP2 (2013). *IAP2: Good public participation results in better decisions*. Através da URL: <http://www.iap2.org/>. Consultado a 29 de Maio de 2013.

ITU (2008). *ICTs for e-Environment - Guidelines for Developing Countries, with a Focus on Climate Change*. International Telecommunication Union, Suíça.

Jinasys (2013). *Noise Meter - Google Play*. Através da URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pjw.noisemeter&feature=search_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsImNvbS5wancubm9pc2VtZXRIciJd. Consultado a 13 de Junho de 2013.

Kaartinen, A. (2013). EEA.Enquiries@eea.europa.eu, [EEA-121221.0002] Mobile application Noise Meter, 9 de Janeiro de 2013 às 09:59.

Khan, W. Z., Xiang, Y., Aalsalem, M. Y., Arshad, Q. (2013). Mobile Phone Sensing Systems: A Survey. *Communications Surveys & Tutorials*, **15** (1), 402 – 427.

Kingston, R., Carver, S., Evans, A., Turton, I. (2000). Web-based public participation geographical information systems: an aid to local environmental decision-making. *Computers, Environment and Urban Systems*, **24**, 109-125.

Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B., Sandres, J. V. (2000). *Fundamentals of acoustics*, 4^o edition. John Wiley Sons, Inc., EUA.

Komito, L. (2005). e-Participation and Governance: Widening the net. *The Electronic Journal of e-Government*, 3 (1), 39-48.

L3S (2013a). *WideNoise plus*. Através da URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=eu.everyaware.widenoise.android&feature=search_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsImV1LmV2ZXJ5YXdhcmUud2lkZW5vaXNlMmFuZHZHJvaWQiXQ.. Consultado a 12 de Junho de 2013.

L3S (2013b). EveryAware - Enhancing environmental awareness through social information technologies. Através da URL: <http://cs.everyaware.eu/event/widenoise>. Consultado a 12 de Junho de 2013.

Lane, N. D., Eisenman, S. B., Musolesi, M., Miluzzo, E., Campbell, A. T. (2008). Urban Sensing Systems: Opportunistic or Participatory?. In: *Proceedings of the 9th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, EUA, 25-26 de Fevereiro, ACM, 11-16.

Lane, N. D., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T., Campbell, A. T. (2010). A survey of mobile phone sensing. *Communications Magazine*, **48** (9), 140 – 150.

Lee, D. C., Bradshaw, G. A. (2004). *Making Monitoring Work for Managers*. Através da URL: http://www.monitor2manage.com.au/userdata/downloads/p_2_3%20monitoring%20for%20management.pdf. Consultado a 29 de Maio de 2013.

Lebiedowska, B. (2005). Acoustic background and transport noise in urbanised areas: A note on the relative classification of the city soundscape. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **10** (4), 341–345.

Liu, D. H. F., Roberts, H. C (1999). Noise Pollution. In: Liu, D. H. F, Lipták, B. G. (2nd Edition) *Environmental Engineers' Handbook*, CRC Press.

Luyet, V., Schlaepfer, R., Parlange, M. B., Buttler, A. (2012). A framework to implement Stakeholder participation in environmental projects. *Journal of Environmental Management*, **111**, 213-219.

Manweiler, J., Jain, P., Choudhury, R. R. (2012). Satellites in Our Pockets: An Object Positioning System using Smartphones. In: *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services*, Reino Unido, 25-29 de Junho, ACM, 211-224.

- Mohan, P., Padmanabhan, V. N., Ramjee, R. (2008). Nericell: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile Smartphones. In: *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, EUA, 5-7 de Novembro, ACM, 323-336.
- Mulder, R. e Vonk, T. (2002). *Wireless Communication - Overview of Possibilities for Wireless Connections between Computers*. International Institute for Communication and Development.
- Muzet, A. (2007). Environmental noise, sleep and health. *Sleep Medicine Reviews*, **11**, 135–142.
- Newman, G., Graham, J., Crall, A., Laituri, M. (2011). The art and science of multi-scale citizen science support. *Ecological Informatics*, **6**, 217–227.
- Nov, O., Arazy, O., and Anderson, D. (2013). Scientists@home: what drives the quantity and quality of volunteers' technology-mediated citizen science participation?. Através da URL: <http://faculty.poly.edu/~onov/odednov>. Consultado a 10 de Maio de 2013.
- Ogunsola, L. A. e Aboyade, W. A. (2005). Information and Communication Technology in Nigeria: Revolution or Evolution. *Journal of Social Sciences*, **11** (1), 7-14.
- Oliveira, L. M. L. e Rodrigues, J. J. P. C. (2011). Wireless Sensor Networks: a Survey on Environmental Monitoring. *Journal of Communications*, **6** (2), 143-151.
- Omokaro, O. (2012). A Framework to Promote User Engagement in Participatory Sensing Applications. In: *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, EUA, 5-8 de Setembro, ACM, 548-551.
- Ouis, D. (2001). Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of Environmental Psychology*, **21**, 101-120.
- Passchier-Vermeer, W., Passchier, W. F. (2000). Noise Exposure and Public Health. *Environmental Health Perspectives*, **108**, 123-131.
- Pedersen, J., Kocsis, D., Tripathi, A., Tarrell, A., Weerakoon, A., Tahmasbi, N., Xiong, J., Deng, W., Oh, O., deVreede, G.-J. (2013). Conceptual Foundations of Crowdsourcing: A Review of IS Research. In: *46th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Hawaii (EUA), 7-10 Janeiro, 579 – 588.
- Phang, C. W., e Kankanhalli, A. (2008). A Framework of ICT Exploitation for E-Participation Initiatives. *Communications of the ACM*, **51** (12), 128-132.
- Prof2000 (2013). *Audição*. Através da URL: <http://www.prof2000.pt/users/mrsd/8ano/Audicao.htm>. Consultado a 30 de Junho de 2013.
- Quercus (2012). *Portugal não cumpre legislação em vigor sobre ruído ambiente*. Através da URL: <http://www.quercus.pt/comunicados/2012/comunicadosnovembro/255-portugal-nao-cumpre-legislacao-em-vigor-sobre-ruído-ambiente>. Consultado a 10 de Setembro de 2013.
- Quercus (2013). *Legislação sobre ruído ainda longe de ser cumprida em Portugal: Quercus faz medições e inquéritos em Lisboa*. Através da URL: <http://www.quercus.pt/comunicados/2013/janeiro/1022-legislacao-sobre-ruído-ainda-longo-de-ser-cumprida-em-portugal-quercus-faz-medicoes-e-inqueritos-em-lisboa?highlight=WyJydVx1MDBIZGRvliwyMDEzXQ==>. Consultado a 10 de Setembro de 2013.
- Rao, N. H. (2007). A framework for implementing information and communication technologies in agricultural development in India. *Technological Forecasting & Social Change*, **74**, 491–518.
- Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, **141**, 2417–2431.

Ripoll, A. (2005). State of the art of noise mapping in Europe. European Topic Centre Terrestrial Environment, Espanha.

Saenz, A. L. e Stephens, R. W. B. (1986). *Noise Pollution - Effects and Control*, John Wiley & Sons, EUA.

Salamat, M. A. B., Hassan, S. B., Muhammad, M. S. B. (2011). Electronic Participation in Malaysia. *Journal of e-Government Studies and Best Practices*, **2011**, 11 páginas.

Sieber, R. (2006). Public Participation Geographic Information Systems: A Literature Review and Framework. *Annals of the Association of American Geographers*, **96** (3), 491–507.

Silsbee, D. G. e Peterson, D. L. (1993). Planning for implementation of long-term resource monitoring programs. *Environmental Monitoring and Assessment*, **26**, 177-185.

Software Languages Lab (2013). *NoiseTube – iTunes Preview*. Através da URL: <https://itunes.apple.com/app/noisetube/id475721267?mt=8>. Consultado a 13 de Junho de 2013.

StackArena (2013a). *Android Sound Meter – Google Play*. Através da URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.edgewalk.soundmeter&feature=search_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsImNvbS5lZGdlid2Fsay5zb3VuZG1ldGVyIl0. Consultado a 12 de Junho de 2013.

StackArena (2013b). *Android Sound Meter*. Através da URL: <http://apps.stackarena.com/home/apps/4>. Consultado a 12 de Junho de 2013.

Stansfeld, S. A., Matheson, M. P. (2003). Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, **68**, 243–257.

Stevens, M. (2012). Community memories for sustainable societies - The case of environmental noise. Faculty of Science and Bio-Engineering Sciences, Vrije Universiteit Brussel, Bélgica.

Szalma, J. L., Hancock, P. A. (2011). Noise Effects on Human Performance: A Meta-Analytic Synthesis. *Psychological Bulletin*, **137** (4), 682–707.

Töyssy, S. e Helenius, M. (2006). About malicious software in smartphones. *Journal in Computer Virology*, **2**, 109–119.

Trajkovski, B. (2013). *Sound Meter – Google Play*. Através da URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bti.soundMeter&feature=nav_other#?t=W251bGwsMSwxLDYsImNvbS5idGkuc291bmRNZXRlciJd. Consultado a 12 de Junho de 2013.

Vaughan, H., Whitelaw, G., Craig, B., Stewart, C. (2003). Linking ecological science to decision-making: delivering environmental monitoring information as societal feedback. *Environmental Monitoring and Assessment*, (88), 399–408.

Vér, I, L, Beranek, L. L. (2006). *Noise and Vibration Control Engineering – Principles and applications* (2nd Edition), John Wiley & Sons, Inc., EUA.

VUB BrusSense Team (2013). *NoiseTube Mobile - Google Play*. Através da URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.noisetube>. Consultado a 13 de Junho de 2013.

Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y. (2005). *Handbook of Environmental Engineering: Advanced air and noise pollution control – Volume 2*, Humana Press Inc., Nova Jérícia, EUA.

WG-AEN (2006). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise.

Whitelaw, G., Vaughan, H., Craig, B., Atkinson, D. (2003). Establishing the Canadian community monitoring network. *Environmental Monitoring and Assessment*, **88**, 409–418.

White Noise Direct (2013). How Noise Affects Your Health. Através da URL: <http://visual.ly/how-noise-affects-your-health>. Consultado a 10 de Setembro de 2013.

WideTag (2013). *WideNoise – iTunes Preview*. Através da URL: <https://itunes.apple.com/us/app/widenoise/id302052132?mt=8>. Consultado a 12 de Junho de 2013.

WHO (1995). *Occupational exposure to noise – Evaluation, prevention and control. Occupational and Environmental Health*, Genebra, Suíça.

WHO (1999). *Guidelines for Community Noise*, Genebra, Suíça.

WHO Europe (2010). *Health and Environment in Europe: Progress Assessment*. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.

WHO Europe (2011). Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.

WHO Europe (2013). *Noise - Facts and figures*. Através da URL: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/noise/facts-and-figures>. Consultado a 30 de Junho de 2013.

Yan, Z., Eberle, J., Aberer, K. (2012). OptiMoS: Optimal Sensing for Mobile Sensors. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Mobile Data Management (MDM)*, Índia, 23-26 Julho, IEEE, 105-114.

Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D. (2011). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, **52**, 2292–2330.

Anexos

Anexo 1 – Inquérito

Inquérito sobre participação pública na monitorização do ruído

Questionário realizado para um projeto de investigação sobre a participação pública na monitorização do ruído, recorrendo a *smartphones*, no âmbito de uma dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Data, hora e local do preenchimento deste inquérito.

Data: _____

Hora: _____

Local: _____

Dados demográficos

1. Sexo:

Feminino Masculino

2. Idade:

- Menos de 18 anos
- 18 – 29 anos
- 30 – 49 anos
- 50 – 64 anos
- Mais de 65 anos

3. Habilitações literárias:

- Sem escolaridade
- Ensino Básico (1º - 9º ano)
- Ensino secundário (10º - 12º ano)
- Licenciatura
- Mestrado/Pós-graduação
- Doutoramento

4. Indique o local da sua residência.

5. Se trabalha, indique o seu local de trabalho.

Percepção do ruído como problema ambiental

6. Em que grau considera que o ruído constitui um problema ambiental? Indique a sua opção numa escala de 1 a 5, em que 1 (UM) não considera ser um problema ambiental e 5 (CINCO) considera ser um problema ambiental grave.

1 2 3 4 5

7. Em que grau considera que o ruído pode influenciar a sua saúde? Indique a sua opção numa escala de 1 a 5, em que 1 (UM) não influencia e 5 (CINCO) influencia bastante.

1 2 3 4 5

8. Como classifica o nível de ruído a que está exposto, nas seguintes situações? Indique a sua opção numa escala de 1 a 5, em que 1 (UM) é muito baixo e 5 (CINCO) é muito elevado.

Área de residência	1	2	3	4	5
Área de trabalho	1	2	3	4	5
Deslocações casa/emprego	1	2	3	4	5

Importância da participação pública

9. Que importância atribui à participação pública na resolução de problemas ambientais? Indique a sua opção numa escala de 1 a 5, em que 1 (UM) é não é nada importante e 5 (CINCO) é muito importante.

1 2 3 4 5

10. Já se envolveu em projetos ambientais de cariz comunitário?

Sim Não

11. Em que grau considera ser vantajosa, para o cidadão, a participação na monitorização de parâmetros ambientais, como ruído, qualidade do ar, entre outros? Indique a sua opção numa escala de 1 a 5, em que 1 (UM) é nada vantajosa e 5 (CINCO) é muito vantajosa.

1 2 3 4 5

12. Se classificou de 2 a 5, quais considera serem as vantagens?

Participação pública na monitorização do ruído

Considere que o seu telemóvel lhe permite medir o ruído a que está exposto e que pode disponibilizar essas medições na *Internet* para que possam ser visualizadas por outros cidadãos.

13. Estaria disposto a participar em algo semelhante?

Sim Não

14. Em que grau considera ser motivador receber algum tipo de incentivo para participar no sistema descrito? Indique a sua opção numa escala de 1 a 5, em que 1 (UM) é nada motivador e 5 (CINCO) é muito motivador.

1 2 3 4 5

Dados de caracterização

15. Possui um *smartphone*?

Sim Não

16. Se sim, tem por hábito utilizar aplicações no seu *smartphone*?

Sim Não

Anexo 2 – Informação de caracterização dos ensaios de ruído

A2.1. Comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos

Tabela A2.1 – Informação relativa a ensaios de comparação sonómetro/aplicação móvel

Tipo de ruído	Localização	Coordenadas geográficas	Equipamento de medição			
			Sonómetro		Smartphone	
			Marca e modelo	Informação sobre calibração	Marca e modelo	Informação sobre calibração
Ruído ambiente	Av. Fontes Pereira de Melo (Lisboa)	38°43'47.10"N 9° 8'50.83"W	Sonómetro Brüel & Kjær 2260 Investigator	<u>Data:</u> 21-05-2013 <u>Hora:</u> 14:52 <u>Nível de calibração:</u> 93,9 dB <u>Sensibilidade:</u> -26,5 dB	Smartphone HTC Explorer	Utilizada calibração para smartphone HTC Hero
Tráfego ferroviário subterrâneo	Estação Alameda (Lisboa)	38°44'14.24"N 9° 8'2.59"W				
Tráfego rodoviário	Praça do Comércio (Lisboa)	38°42'29.96"N 9° 8'11.21"W				
Tráfego ferroviário superficial	Estação de Sete-Rios (Lisboa)	38°44'24.73"N 9°10'0.25"W		<u>Data:</u> 14-06-2013 <u>Hora:</u> 18:33 <u>Nível de calibração:</u> 93,9 dB <u>Sensibilidade:</u> -26,5 dB		
Tráfego aéreo	Alameda da Universidade (Cidade Universitária - Lisboa)	38°45'14.12"N 9° 9'16.17"W				
Tráfego fluvial	Plataforma de embarque Transtejo (Cacilhas)	38°41'17.61"N 9° 8'53.91"W				

A2.2. Caracterização de diferentes ambientes de tráfego interiores

Tabela A2.2 - Informação relativa a ensaios de caracterização de diferentes ambientes acústicos interiores

Tipo de ruído		Percurso	Equipamento de medição	
			Smartphone	
			Marca e modelo	Informação sobre calibração
Tráfego rodoviário	Avaliação 1 (Automóvel)	Marquês de Pombal – Entrecampos (Lisboa)	Smartphone HTC Explorer	Utilizada calibração para smartphone HTC Hero
	Avaliação 2 (Autocarro)	Centro Sul (Almada) – Marquês de Pombal (Lisboa)		
	Avaliação 3 (Elétrico)	Cais do Sodré – Belém (Lisboa)		
Tráfego ferroviário superficial		Cais do Sodré – Belém (Lisboa)		
Tráfego ferroviário subterrâneo		Estações Alameda - Estação Oriente (Parque das Nações) (Lisboa)		
Tráfego fluvial		Cacilhas (Almada) – Cais do Sodré (Lisboa)		

A2.3. Avaliação de diferentes estratégias de medição para mapeamento de ruído

Tabela A2.3 - Informação relativa a ensaios de mapeamento de ruído

Tipo de medição	Localização	Equipamento de medição	
		<i>Smartphone</i>	
		Marca e modelo	Informação sobre calibração
Estática (Avaliações 1 e 2)	Praça do Rossio (Lisboa)	<i>Smartphone</i> HTC Explorer	Utilizada calibração para <i>smartphone</i> HTC Hero
Em movimento	Área circundante à Av. da Liberdade (Lisboa)		

Anexo 3 - Comparação sonómetro/aplicação móvel em diferentes ambientes acústicos

A3.1. Ruído ambiente

O primeiro ensaio decorreu no dia 21 de Maio de 2013, entre as 17:34h e as 18:34h, durante o período legal diurno.

Na Tabela A3.1 são apresentados os valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e mínimo, assim como o valor $L_{Aeq,1h}$, resultantes do ensaio.

Tabela A3.1 - Resultados globais do primeiro ensaio referente a ruído ambiente

	Sonómetro	NoiseTube
$L_{Aeq,1s}$ mínimo (dBA)	59,50	53
$L_{Aeq,1s}$ máximo (dBA)	86,68	88
$L_{Aeq,1h}$ (dBA)	72,98	71,49

Os valores $L_{Aeq,1s}$ resultantes do ensaio foram agregados em valores $L_{Aeq,1min}$, para tornar a sua análise expedita. Na Figura A3.1 é apresentado o conjunto dos valores $L_{Aeq,1min}$ resultantes do ensaio.

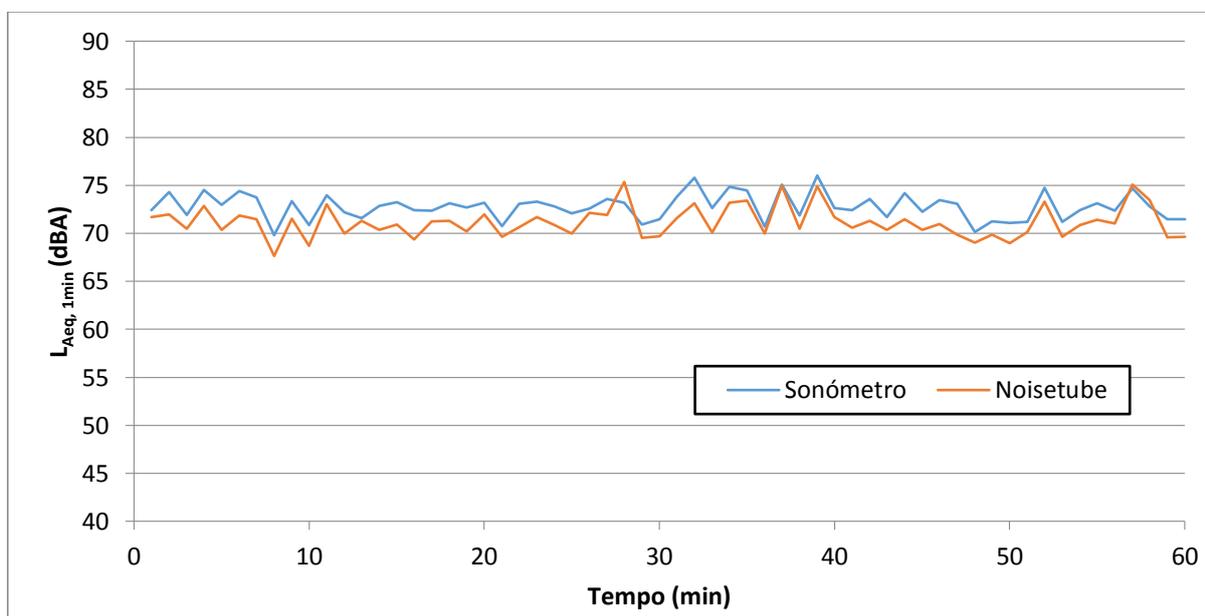


Figura A3.1 - Valores de $L_{Aeq,1min}$ obtidos durante o primeiro ensaio relativo a ruído ambiente

Através da Tabela A3.1, é perceptível uma pequena diferença (inferior a 2 dBA) quanto aos valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e $L_{Aeq,1h}$, obtidos com os dois equipamentos. No que respeita aos valores $L_{Aeq,1s}$ mínimo essa diferença é muito mais acentuada, o que será consequência de uma medição incorreta de níveis sonoros, por parte da aplicação móvel. No entanto, através da representação gráfica dos valores de $L_{Aeq,1min}$ do ensaio constata-se que a aplicação móvel traduz de forma satisfatória as diversas flutuações quanto aos níveis sonoros.

Na Tabela A3.2 são apresentadas as equações e coeficientes de determinação, resultantes da aplicação de regressões lineares (com e sem intersecção na origem), à série de dados.

Tabela A3.2 – Equações resultantes de regressões lineares, para o primeiro ensaio referente a ruído ambiente

	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)
Equação	$L_{Aeq} \text{ NoiseTube} = 0,7856 L_{Aeq} \text{ Sonómetro} + 13,745$	$L_{Aeq} \text{ NoiseTube} = 0,9781 L_{Aeq} \text{ Sonómetro}$
R²	0,62	0,58

Com a regressão linear sem intersecção na origem foi determinado um R² de 0,62, o que evidencia um modelo pouco robusto para estimação (R² <0,75). Todavia o modelo é estatisticamente significativo (p <0,05). Deste modo, podemos assegurar que com um grau de confiança de 95% os dados são considerados dependentes e que 62% da relação entre eles é explicada por um modelo de regressão linear. Tendo em conta o declive da reta, existe uma subestimação dos níveis sonoros com a aplicação móvel.

Através de uma regressão linear com intersecção na origem, verificou-se uma redução quanto à variância explicada (R²). No entanto, esta regressão permitiu obter uma reta com maior declive, o que demonstra uma correspondência de valores mais direta, entre os níveis de ruído medidos com o sonómetro e a aplicação móvel.

A3.2. Ruído gerado por tráfego

A3.2.1. Tráfego ferroviário subterrâneo

O primeiro ensaio relativo a este tipo de tráfego decorreu no dia 5 de Junho de 2013, entre as 16:14h e as 16:29h. Na Tabela A3.3 apresentam-se os valores L_{Aeq,1s} máximo e mínimo, assim como o valor L_{Aeq,15min}, resultantes do ensaio.

Tabela A3.3 - Resultados globais do primeiro ensaio de medição de ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo

	Sonómetro	NoiseTube
L_{Aeq,1s} mínimo (dBA)	51,43	52
L_{Aeq,1s} máximo (dBA)	85,59	84
L_{Aeq,15 min} (dBA)	71,45	70,37

Na Figura A3.2 é apresentado o conjunto de valores L_{Aeq,1s} obtidos no decorrer do ensaio.

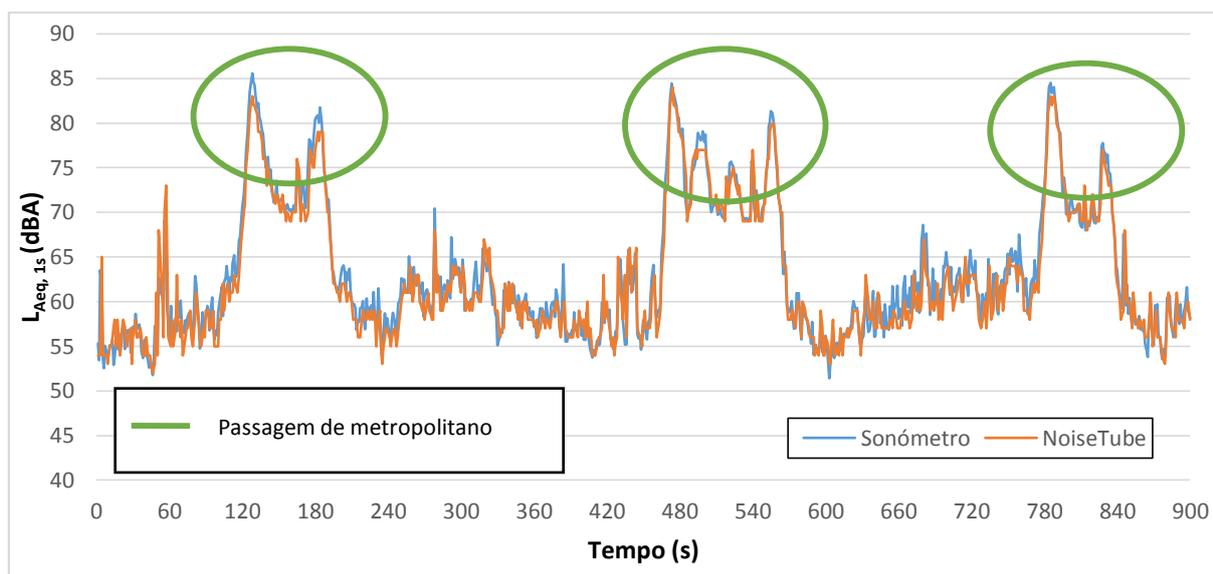


Figura A3.2 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o primeiro ensaio de ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo

Pela Tabela A3.3 é perceptível que os valores obtidos com a aplicação móvel aproximam-se bastante dos valores obtidos com o sonómetro, existindo uma diferença inferior a 2 dB(A). Observando a Figura A3.2 verifica-se que a aplicação *NoiseTube* permite caracterizar corretamente este ambiente acústico. Apesar da existência de algumas disparidades é possível identificar as variações de níveis sonoros resultantes da passagem de metropolitano.

Na Tabela A3.4 são apresentadas as equações e coeficientes de determinação, resultantes da aplicação de regressões lineares (com e sem intersecção na origem), à série de dados.

Tabela A3.4 – Equações resultantes de regressões lineares, para o primeiro ensaio de ruído gerado por tráfego ferroviário subterrâneo

	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)
Equação	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,9458 L_{Aeq\ Sonómetro} + 2,9066$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,9911 L_{Aeq\ Sonómetro}$
R^2	0,94	0,94

Através de uma regressão linear sem intersecção na origem determinou-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,94. Dado o R^2 ser superior a 0,75 podemos afirmar que estamos perante um modelo robusto que pode ser empregado para previsão. Este modelo é ainda estatisticamente significativo ($p < 0,05$), pelo que podemos assegurar que os dados são dependentes, com um grau de confiança de 95% e que 94% da relação entre eles é explicada com recurso a um modelo de regressão linear.

Analisando o declive da reta de regressão podemos afirmar que existe uma grande aproximação entre os valores obtidos com o *NoiseTube* e o sonómetro, pois este assume um valor próximo de um. Caso a regressão linear intersete a origem não ocorre qualquer redução da variância explicada.

A3.2.2. Tráfego ferroviário superficial

O local de medição selecionado, quanto a este tipo de tráfego, foi a estação de Sete-Rios. Os ensaios decorreram no dia 18 de Julho de 2013, entre as 16:16h e as 16:31h e entre as 17:05h e as 17:20h.

Na Tabela A3.5 são apresentados os valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e mínimo, assim como o valor $L_{Aeq,15min}$, resultantes dos dois ensaios realizados.

Tabela A3.5 - Resultados globais dos ensaios de medição de ruído gerado por tráfego ferroviário superficial

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Sonómetro	NoiseTube	Sonómetro	NoiseTube
$L_{Aeq,1s}$ mínimo (dBA)	51,37	51	53,42	53
$L_{Aeq,1s}$ máximo (dBA)	90,81	87	88,72	88
$L_{Aeq,15 min}$ (dBA)	76,27	74,94	77,09	76,65

Nas Figuras A3.3 e A3.4 são apresentados os conjuntos de valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante os ensaios 1 e 2, respetivamente.

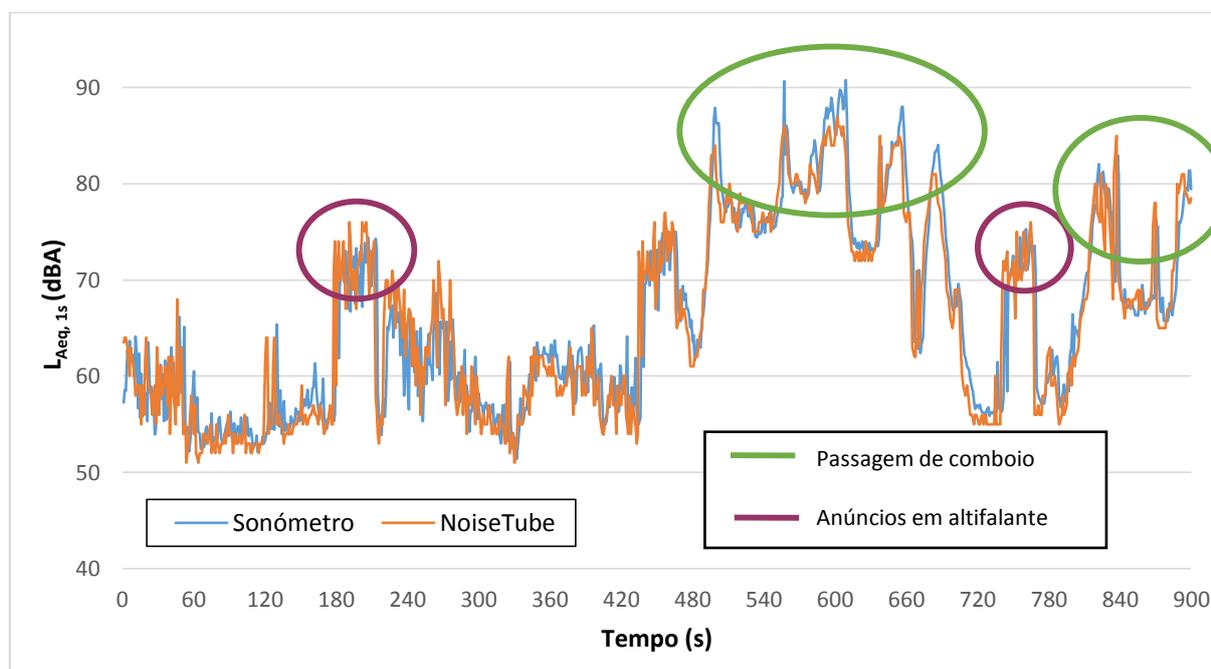


Figura A3.3 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o primeiro ensaio de ruído ferroviário superficial

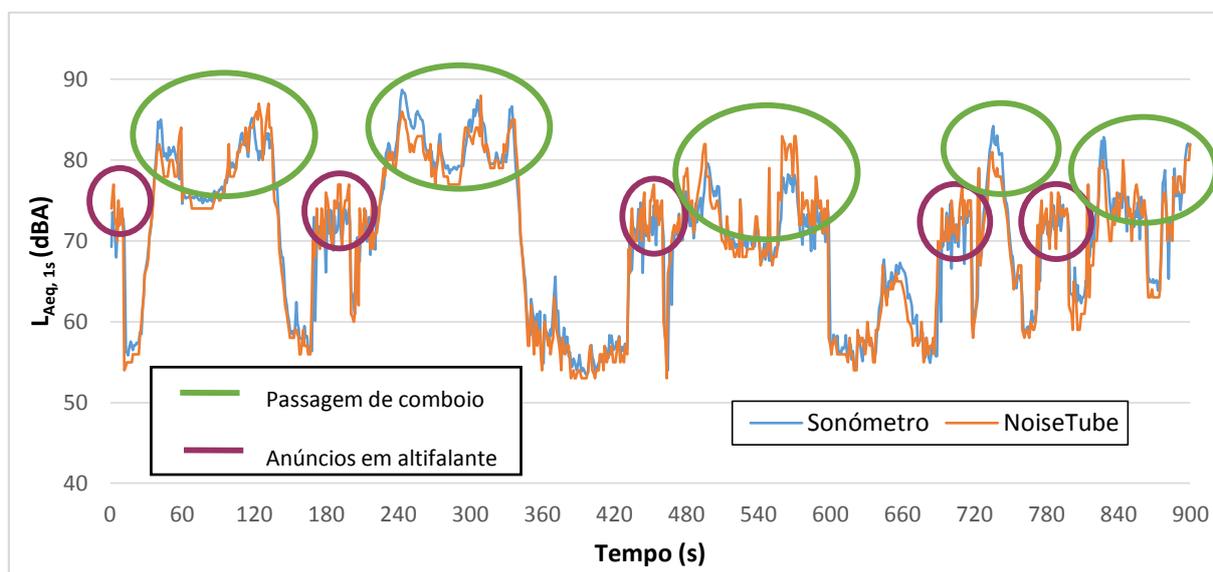


Figura A3.4 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o segundo ensaio de ruído ferroviário superficial

Pela Tabela A3.5 verifica-se que os níveis sonoros medidos através da aplicação móvel aproximam-se dos valores obtidos com o sonómetro. A maior diferença (3,81 dBA) verifica-se entre os valores $L_{Aeq,1s}$ máximo relativos ao primeiro ensaio. Não obstante é possível afirmar que a aplicação *NoiseTube* permite caracterizar de forma aceitável o ambiente acústico associado a este tipo de tráfego (Figuras A3.3 e A3.4). Esta relação assenta no facto de as linhas correspondentes aos níveis sonoros medidos com ambos os equipamentos apresentarem o mesmo comportamento.

Na Tabela A3.6 são apresentadas as equações e coeficientes de determinação, resultantes da aplicação de regressões lineares (com e sem intersecção na origem), à série de dados.

Tabela A3.6 – Equações resultantes de regressões lineares, para o primeiro e segundo ensaios de ruído gerado por tráfego ferroviário superficial

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)
Equação	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,9279 L_{Aeq\ Sonómetro} + 4,4608$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,994 L_{Aeq\ Sonómetro}$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,9816 L_{Aeq\ Sonómetro} + 1,0691$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,9966 L_{Aeq\ Sonómetro}$
R²	0,85	0,85	0,92	0,92

Com a regressão linear sem intersecção na origem obtiveram-se coeficientes de determinação (R^2) de 0,85 (ensaio 1) e 0,92 (ensaio 2), logo os modelos são robustos e podem ser utilizados para efeitos de previsão. Podemos igualmente assegurar que são estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Desta forma, os dados são dependentes, com um grau de confiança de 95% e 85% da relação entre eles é explicada através de um modelo de regressão linear, no ensaio 1. No caso do ensaio 2 a percentagem de variância explicada é superior (92%).

Avaliando os declives das retas verifica-se a existência de uma correspondência bastante direta entre os valores obtidos com a aplicação móvel e com o sonómetro (declives das retas próximos de um). Comparando os dados obtidos através da regressão linear com interseção na origem não se constatam diferenças relevantes.

A3.3.3. Tráfego rodoviário

O local de medição selecionado foi uma paragem situada na Praça do Comércio. Os ensaios decorreram no dia 17 de Junho de 2013 das 15:53h às 16:08h e das 17:08h às 17:23h.

Na Tabela A3.7 são apresentados os valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e mínimo, assim como o valor $L_{Aeq,15min}$, resultantes dos dois ensaios realizados.

Tabela A3.7 - Resultados globais dos ensaios de medição de ruído gerado por tráfego rodoviário

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Sonómetro	NoiseTube	Sonómetro	NoiseTube
$L_{Aeq,1s}$ mínimo (dBA)	59,74	58	58,96	57
$L_{Aeq,1s}$ máximo (dBA)	83,61	82	83,26	86
$L_{Aeq,15 min}$ (dBA)	71,10	70,57	71,84	71,33

Nas Figuras A3.5 e A3.6 são apresentados os conjuntos de valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante os ensaios 1 e 2, respetivamente.

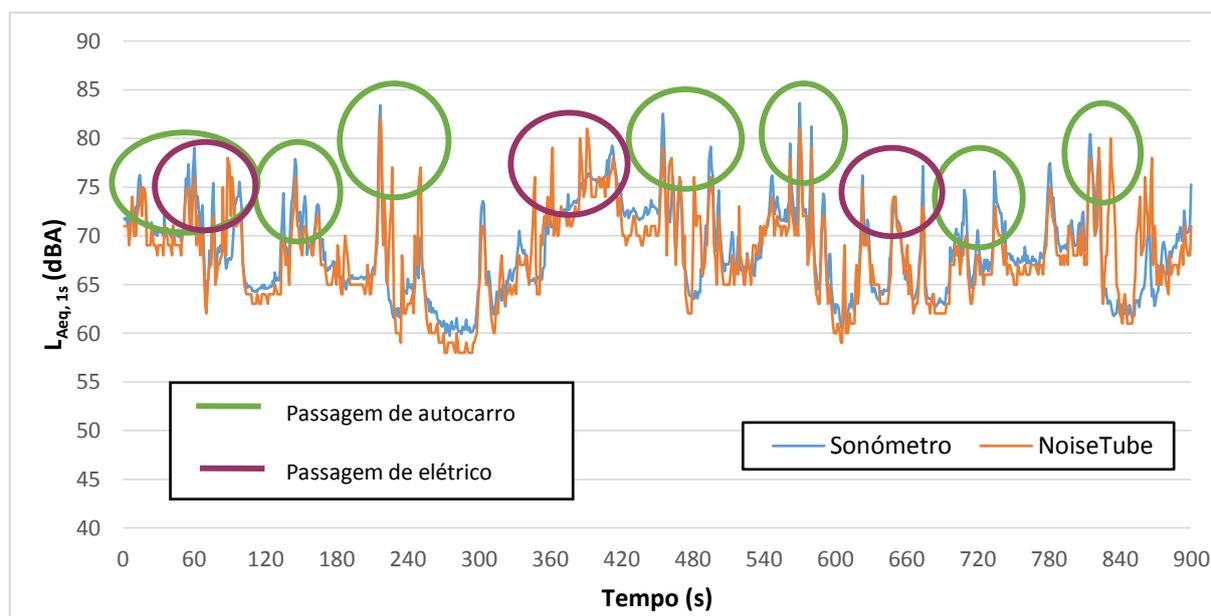


Figura A3.5 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o primeiro ensaio de ruído rodoviário

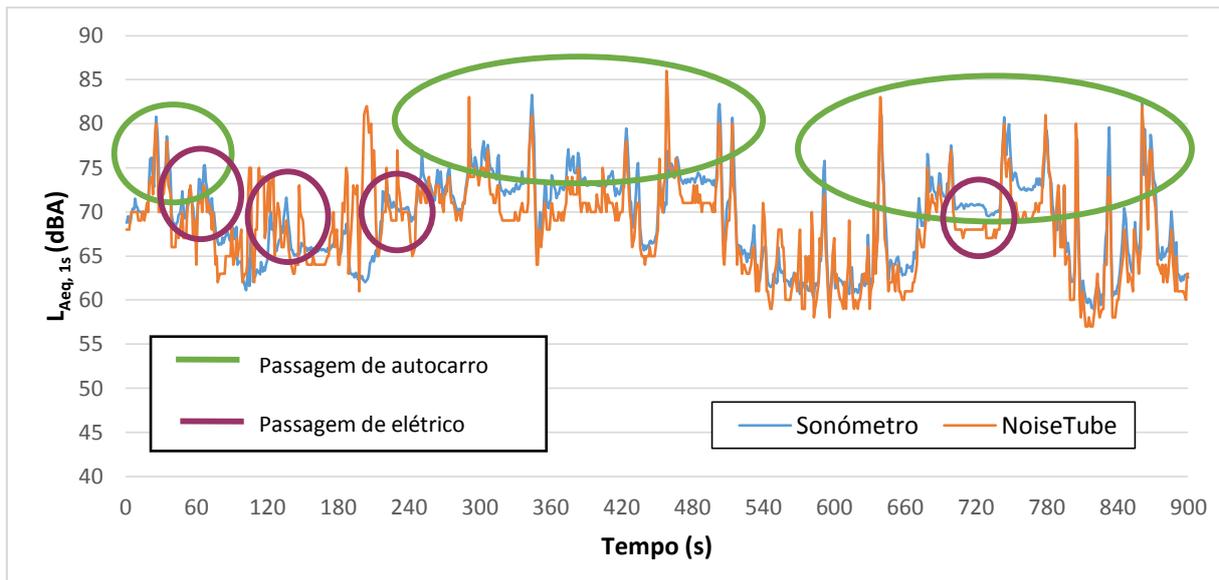


Figura A3.6 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o segundo ensaio de ruído rodoviário

Analisando a Tabela A3.7 podemos constatar que os níveis sonoros medidos com recurso ao *NoiseTube* se aproximam bastante dos níveis medidos com recurso ao sonómetro. A única excepção diz respeito ao $L_{Aeq,1s}$ máximo, valor para o qual se observa uma maior diferença.

Verifica-se que a aplicação móvel permite caracterizar de forma aceitável o ruído associado a este tipo de tráfego. Esta relação deve-se à grande correspondência existente entre as linhas dos dois equipamentos, nas Figuras A3.5 e A3.6.

Na Tabela A3.8 são apresentadas as equações e coeficientes de determinação, resultantes da aplicação de regressões lineares (com e sem intersecção na origem), à série de dados.

Tabela A3.8 – Equações resultantes de regressões lineares, para o primeiro e segundo ensaios de ruído gerado por tráfego rodoviário

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)
Equação	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,8371 L_{Aeq\ Sonómetro} + 10,628$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,9914 L_{Aeq\ Sonómetro}$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,8027 L_{Aeq\ Sonómetro} + 12,79$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,9868 L_{Aeq\ Sonómetro}$
R²	0,67	0,64	0,64	0,60

Com uma regressão linear sem intersecção na origem foram obtidos valores R^2 de 0,67 e 0,64, para os ensaios 1 e 2, respetivamente. Uma vez que se tratam de valores inferiores a 0,75 os modelos são considerados pouco robustos para estimação. No entanto eles são estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Assim podemos afirmar, para o ensaio 1, que com um grau de confiança de 95%, os dados são considerados dependentes e que 67% da relação entre eles é explicada por um modelo de regressão linear. Para o ensaio 2 obteve-se uma variância explicada menor (64%). Importa salientar que em ambos os ensaios verificou-se a existência de alguma subestimação dos níveis sonoros com a aplicação móvel, perceptível devido ao declive das retas ser inferior a um.

Após a realização de uma regressão linear com intersecção na origem, observou-se uma redução da variância explicada pelo modelo somente no segundo ensaio, ou seja, houve um decréscimo no valor do coeficiente de determinação. No entanto as intersecções na origem permitiram obter declives maiores e conseqüentemente uma maior correspondência entre os valores medidos pelos diferentes equipamentos.

A3.3.4. Tráfego fluvial

No âmbito deste tipo de tráfego, o local de medição situa-se em Cacilhas, na plataforma de embarque Transtejo. Os ensaios foram executados no dia 19 de Junho de 2013, entre as 8:52h e as 9:02h e entre as 11:38h e as 11:47h.

Na Tabela A3.9 são apresentados os valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e mínimo, assim como o valor L_{Aeq} , resultantes de ambos os ensaios.

Tabela A3.9 - Resultados globais dos ensaios de medição de ruído de tráfego fluvial

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Sonómetro	NoiseTube	Sonómetro	NoiseTube
$L_{Aeq,1s}$ mínimo (dBA)	60,08	59	61,74	62
$L_{Aeq,1s}$ máximo (dBA)	95,97	89	92,45	88
$L_{Aeq,15}$ min (dBA)	71,98	77,18	72,12	80,90

Nas Figuras A3.7 e A3.8 são apresentados os conjuntos de valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos na realização dos ensaios 1 e 2, respetivamente.

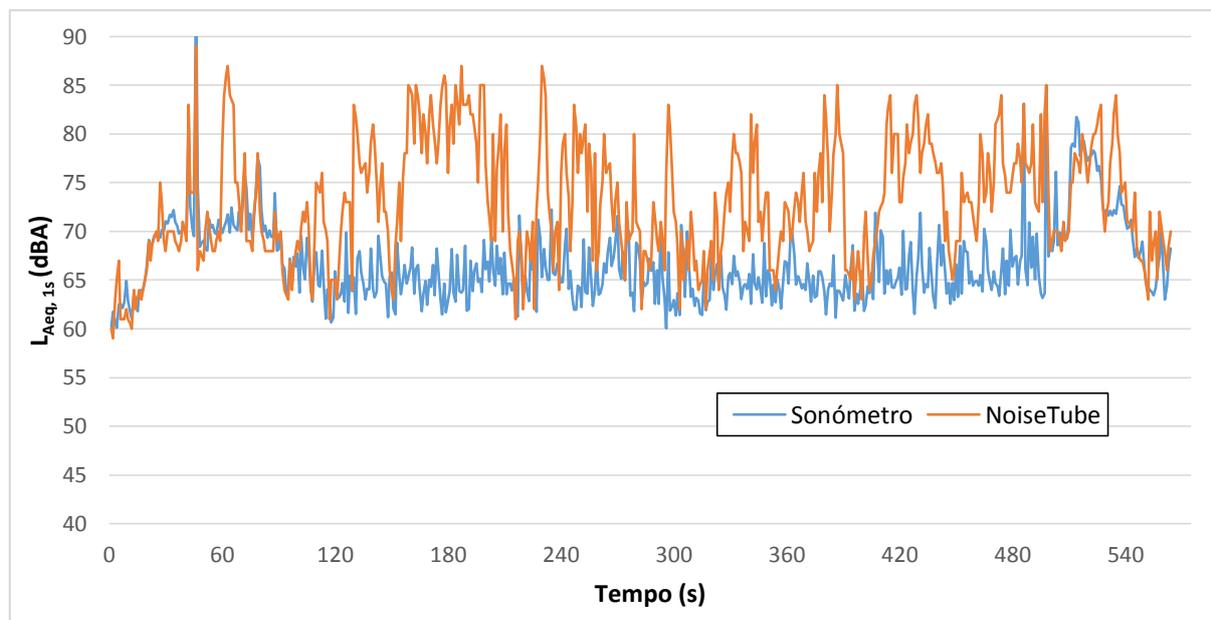


Figura A3.7 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o primeiro ensaio de ruído gerado por tráfego fluvial

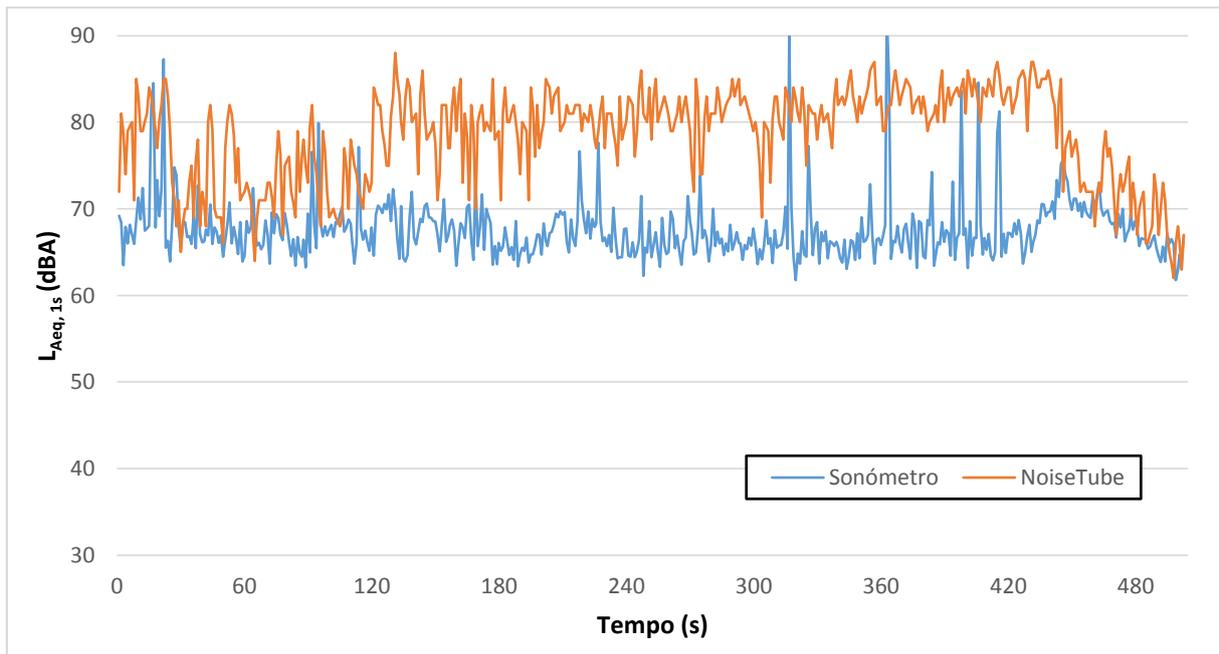


Figura A3.8 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o segundo ensaio de ruído gerado por tráfego fluvial

Através da Tabela A3.9 é notório que a maior disparidade entre os níveis de ruído obtidos com o sonómetro e com a aplicação móvel é encontrada para o L_{Aeq} global, em ambos os ensaios, sendo que este indicador possui um valor superior quando avaliado através da aplicação *NoiseTube*.

Este resultado é consequência da perturbação provocada pela elevada velocidade do vento, presente durante toda a medição. Esta condição meteorológica é característica de zonas costeiras, locais onde se situam as plataformas de embarque associadas a este tipo de transporte público. Visto o *smartphone* não possuir qualquer atenuador de vento, ao contrário de um sonómetro, não é possível medir os níveis sonoros associados exclusivamente à fonte de ruído. Nas Figuras A3.7 e A3.8 é visível que durante grande parte dos ensaios são registados valores mais elevados com a aplicação móvel, não sendo possível distinguir o ruído gerado pela embarcação.

Na Tabela A3.10 são apresentadas as equações e coeficientes de determinação, resultantes da aplicação de regressões lineares (com e sem intersecção na origem), à série de dados.

Tabela A3.10 – Equações resultantes de regressões lineares, para o primeiro e segundo ensaios de ruído gerado por tráfego fluvial

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)
Equação	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,2989 L_{Aeq\ Sonómetro} + 53,034$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 1,0907 L_{Aeq\ Sonómetro}$	$y = 0,0527 L_{Aeq\ Sonómetro} + 74,94$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 1,1573 L_{Aeq\ Sonómetro}$
R²	0,04	- 0,24	0,00	- 0,55

Com a aplicação de regressões lineares com intersecção na origem obtiveram-se coeficientes de determinação muito baixos. Tal demonstra que o modelo obtido não é de todo robusto, sendo somente estatisticamente significativo no ensaio 1 ($p < 0,05$).

A3.3.5. Tráfego aéreo

O local de medição escolhido situa-se na Alameda da Universidade, na Cidade Universitária (Lisboa). Os ensaios decorreram no dia 23 de Junho de 2013, entre as 18:09h e as 18:24h e entre as 18:25h e as 18:40h.

Na Tabela A3.11 são apresentados os valores $L_{Aeq,1s}$ máximo e mínimo, assim como o valor $L_{Aeq,15min}$, resultantes de ambos os ensaios.

Tabela A3.11 - Resultados globais dos ensaios de medição de ruído de tráfego fluvial

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Sonómetro	NoiseTube	Sonómetro	NoiseTube
$L_{Aeq,1s}$ mínimo (dBA)	52,36	52	52,34	53
$L_{Aeq,1s}$ máximo (dBA)	75,29	87	79,59	87
$L_{Aeq,15 min}$ (dBA)	61,25	70,53	63,38	72,88

Nas Figuras A3.9 e A3.10 são apresentados os conjuntos de valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos na realização dos ensaios 1 e 2, respetivamente.

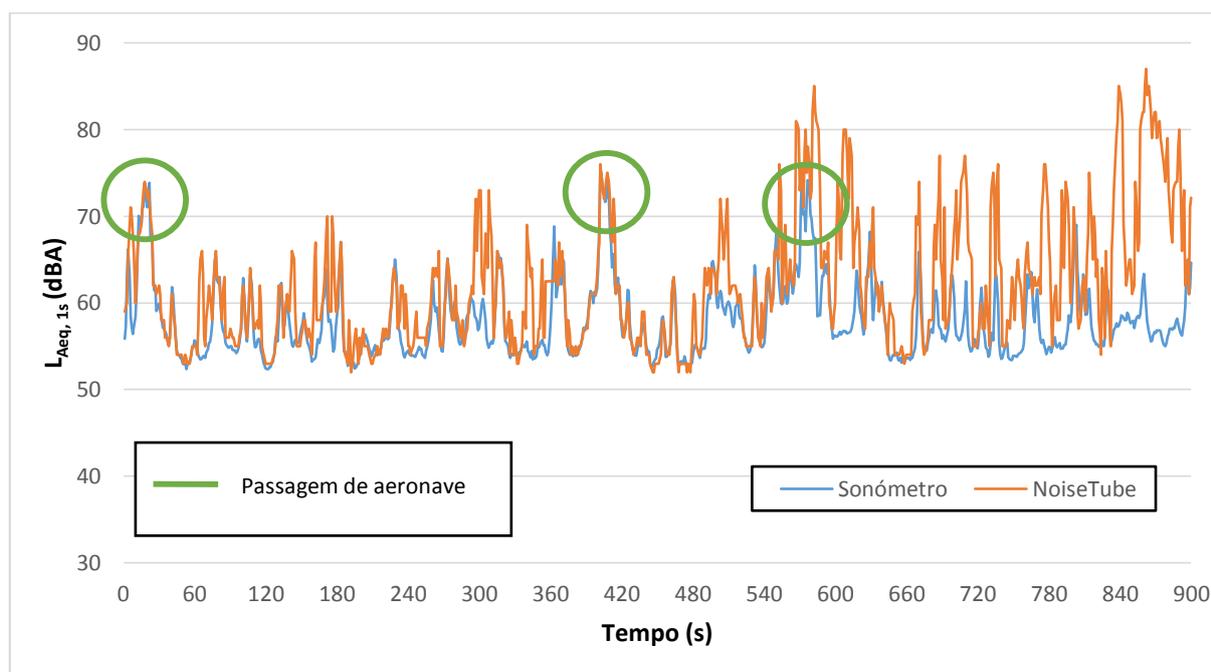


Figura A3.9 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o primeiro ensaio de ruído gerado por tráfego aéreo

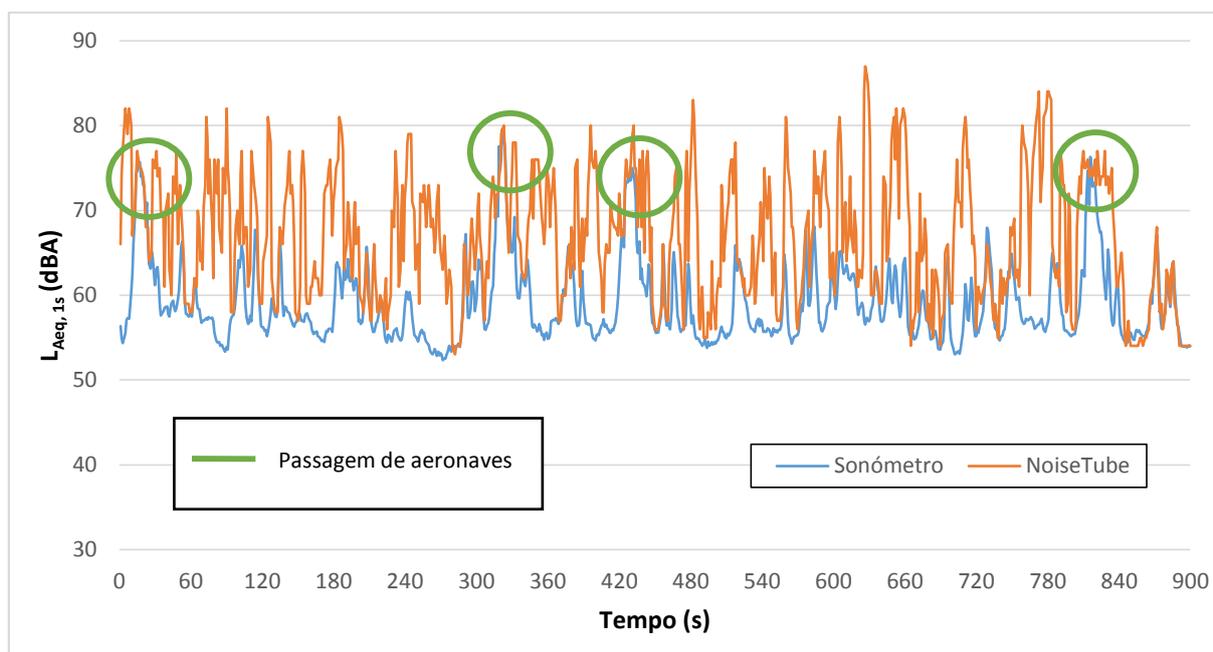


Figura A3.10 - Valores de $L_{Aeq,1s}$ obtidos durante o segundo ensaio de ruído gerado por tráfego aéreo

É possível identificar uma grande disparidade entre os níveis sonoros medidos com o sonómetro e com a aplicação móvel, no que respeita aos indicadores $L_{Aeq,1s}$ máximo e $L_{Aeq,15}$ min. No entanto quanto ao indicador $L_{Aeq,1s}$ mínimo existe uma grande aproximação (diferença inferior a 1 dB(A)). Estes resultados são explicados pela ocorrência de elevadas velocidades de vento durante alguns períodos de medição no decorrer dos ensaios, que perturbaram as medições realizadas através do *smartphone* (Figuras A3.9 e A3.10).

Assim, devido às condições meteorológicas presentes, foi necessário isolar os valores $L_{Aeq,1s}$ associados a um único evento, isto é, à passagem de uma aeronave, numa altura em que não se verificou a influência do vento. Desta forma, foi possível comparar com maior exatidão, o ajustamento linear entre os níveis sonoros obtidos com os dois equipamentos. Na Tabela A3.12 são apresentadas as equações e coeficientes de determinação, resultantes da aplicação de regressões lineares (com e sem intersecção na origem), à série de dados.

Tabela A3.12 – Equações resultantes de regressões lineares, para o primeiro e segundo ensaios de ruído gerado por tráfego aéreo

	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)	Regressão linear (sem intersecção na origem)	Regressão linear (com intersecção na origem)
Equação	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 1,0389 L_{Aeq\ Sonómetro} - 1,6478$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 1,0137 L_{Aeq\ Sonómetro} + 9,8092$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 0,8691 L_{Aeq\ Sonómetro} + 9,8092$	$L_{Aeq\ NoiseTube} = 1,0086 L_{Aeq\ Sonómetro}$
R²	0,91	0,91	0,87	0,85

Com uma regressão linear sem intersecção na origem foram obtidos valores R^2 de 0,91 e 0,87, para os ensaios 1 e 2, respetivamente. Por se tratarem de valores superiores a 0,75, os modelos são considerados robustos para estimação e são ainda estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Deste

modo podemos afirmar, para o ensaio 1, que com um grau de confiança de 95%, os dados são considerados dependentes e que 91% da relação entre eles é explicada por um modelo de regressão linear. Para o ensaio 2 obteve-se uma variância explicada menor (87%).

Importa salientar que no ensaio 1 verificou-se uma ligeira sobrestimação dos níveis sonoros com a aplicação móvel, perceptível devido ao declive da reta ser superior a um. Pelo contrário, no ensaio 2 verificou-se uma ligeira subestimação dos níveis sonoros, por parte do *NoiseTube*.

Após a realização de uma regressão linear com intersecção na origem, observaram-se diferenças significativas somente no ensaio 2. Houve um pequeno decréscimo da variância explicada, ao qual está adjacente uma ligeira sobrestimação de níveis sonoros.

Comparando o $L_{Aeq, 15 \text{ min}}$ obtido através da aplicação móvel, com o L_{Aeq} presente no mapa estratégico de ruído do Aeroporto de Lisboa, para o local de medição, observam-se diferenças significativas. No mapa estratégico, o L_{Aeq} assume um valor entre 50 e 55 dBA (Figura A3.11), enquanto através de uma medição no terreno foi obtido um L_{Aeq} médio de 71,86 dBA. Contudo deve ser tido em consideração que o mapa estratégico de ruído do aeroporto foi elaborado com base em métodos de cálculo e que o número de ensaios realizados não é suficiente para obter uma caracterização exata dos níveis sonoros, no local. Quando comparado o L_{Aeq} presente no mapa estratégico com o L_{Aeq} médio obtido com o sonómetro (62,44 dBA), é visível uma maior aproximação entre os valores.



Figura A3.11 - Excerto do mapa estratégico de ruído do Aeroporto de Lisboa (Adaptado de ANA, 2012)

Anexo 4 – Avaliação de diferentes estratégias de medição para mapeamento de ruído

Tabela A4.1 – Resultados das medições executadas no âmbito do mapa de ruído correspondente à resolução 20 x 20 metros

Ponto de medição	L_{Aeq}, 1 min (dBA)	L_{Aeq}, 5 min (dBA)	ΔL_{Aeq} (dBA)
1	68,95	70,35	1,40
2	66,50	67,01	0,51
3	67,05	68,58	1,53
4	71,15	68,77	2,38
5	65,84	65,45	0,39
6	81,11	71,31	9,80
7	69,00	68,39	0,61
8	71,24	69,60	1,64
9	71,51	70,14	1,37
10	66,11	68,68	2,57
11	63,97	66,73	2,76
12	69,81	69,98	0,17
13	69,53	68,86	0,67
14	64,59	68,00	3,41
15	66,27	65,63	0,64
16	73,17	74,41	1,24
17	71,10	71,27	0,17
18	71,77	71,76	0,01
19	70,71	74,44	3,73
20	65,20	69,23	4,03
21	72,43	68,00	4,43
22	69,67	70,77	1,10
23	67,68	69,64	1,96
24	67,91	68,39	0,48
25	68,32	68,38	0,06

Tabela A4.2 - Resultados das medições executadas no âmbito do mapa de ruído correspondente à resolução 50 x 50 metros

Ponto de medição	L_{Aeq}, 1 min	L_{Aeq}, 5 min	ΔL_{Aeq} (dBA)
1	70,25	70,89	0,63
2	69,26	69,71	0,45
3	70,58	70,94	0,35
4	71,68	69,78	1,90