



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Alexandra Afonso Rodrigues

**Impacto do estado superficial dos  
pavimentos dos passeios nas condições de  
circulação dos peões**



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Alexandra Afonso Rodrigues

**Impacto do estado superficial dos pavimentos dos passeios nas condições de circulação dos peões**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho efetuado sob a orientação de  
**Doutor Hugo Manuel Ribeiro Dias da Silva**  
**Doutor Fernando Pereira da Fonseca**

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

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

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

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

### **Licença concedida aos utilizadores deste trabalho**



**Atribuição-NãoComercial**  
**CC BY-NC**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os que me apoiaram e ajudaram a realizar este trabalho, e em especial a um conjunto de pessoas que contribuíram de forma mais significativa para o mesmo.

Aos meus orientadores, Doutor Hugo Manuel Ribeiro Dias da Silva e Doutor Fernando Pereira da Fonseca, agradeço por todo o conhecimento transmitido, pela dedicação e disponibilidade ao longo deste percurso. Sempre prestáveis, atenciosos e divertidos.

Ao técnico do Laboratório de Engenharia Civil, Engenheiro Carlos Palha, pela disponibilidade, paciência, ensinamento e boa disposição.

Um agradecimento especial aos meus pais, à minha irmã e aos meus avós, pelo amor, apoio incondicional e confiança que me transmitiram. Em particular à minha mãe e à minha irmã, pela motivação, paciência e ajuda que sempre me disponibilizaram, nos momentos mais difíceis e em que me sentia menos motivada.

Por último, aos meus colegas e amigos, pelo apoio e pelas mensagens positivas que me foram transmitindo. Em especial à Tatiana Azevedo e Leida Costa, pela amizade e partilha ao longo destes anos académicos.

Agradeço ainda à Câmara Municipal de Braga, que teve conhecimento da realização deste trabalho e permitiu a realização dos ensaios nos passeios referidos neste documento, compreendendo que os mesmos podiam originar perturbações pontuais da circulação dos peões nesses locais.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

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

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

## **Impacto do estado superficial dos pavimentos dos passeios nas condições de circulação dos peões**

### **RESUMO**

Esta dissertação tem como objetivo estudar o “Impacto do estado superficial dos pavimentos dos passeios nas condições de circulação dos peões”, considerando um percurso pedonal entre o Centro Coordenador de Transportes de Braga (CCTB) e o Campus de Gualtar da Universidade do Minho.

Em termos metodológicos, o estudo foi feito através de uma abordagem mista, combinando componentes objetivas e subjetivas. A componente objetiva envolveu a avaliação dos pavimentos utilizados nos passeios, tendo por base os cinco parâmetros seguintes: irregularidade, atrito, textura, conforto térmico e albedo. Além disso, fez-se o levantamento das características gerais dos passeios que foram recolhidas através de uma auditoria às ruas no percurso selecionado. O desempenho dos cinco indicadores foi avaliado *in situ* em sete pontos específicos ao longo do referido percurso pedonal, e algumas propriedades foram avaliadas continuamente com um carrinho de bebé instrumentado. Diversos equipamentos e metodologias foram utilizados na análise objetiva, que incluíram medições com uma régua de três metros, pêndulo Britânico, acelerómetro, sensores térmicos, câmara termográfica e um piranómetro. A componente subjetiva baseou-se num questionário presencial dirigido aos peões que circulavam no percurso selecionado, cujo objetivo foi o de recolher as perceções dos peões sobre os pavimentos e as características gerais dos passeios e a sua importância nas deslocações a pé.

Este estudo pioneiro e inovador realizado na cidade de Braga demonstra claramente que os tipos de pavimentos dos passeios e o seu estado de conservação são aspetos fundamentais para o conforto e segurança dos peões e para tornar a utilização do modo pedonal mais atrativa e conveniente. Em suma, os resultados obtidos mostram que, pelo menos, alguns troços dos passeios no percurso selecionado devem ser reparados de modo a melhorar o conforto e a segurança dos peões que ali circulam, pois encontram-se bastante danificados.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Infraestruturas pedonais, passeios, pavimentos, qualidade dos passeios, mobilidade pedonal, Braga.

## **Impact of sidewalk surface condition on pedestrian circulation conditions**

### **ABSTRACT**

This dissertation aims to study the "Impact of the surface condition of sidewalk sidewalks on pedestrian circulation conditions", considering a pedestrian route between the Braga Transport Coordination Center (CCTB) and the Gualtar Campus of the University of Minho.

In methodological terms, the study was conducted using a mixed approach, combining objective and subjective components. The objective component involved the evaluation of the sidewalk pavements based on the following five parameters: roughness, friction, texture, thermal comfort, and albedo. Moreover, the general characteristics of the sidewalks were collected through a street audit on the selected route. The performance of the five indicators was assessed *in situ* at seven specific points along the pedestrian route, and some properties were evaluated continuously with an instrumented pram. Different equipment and methodologies were used for the objective analysis, including measurements with a 3-meter ruler, British pendulum, accelerometer, thermal sensors, thermographic camera and a pyranometer. The subjective component was based on a face-to-face questionnaire for pedestrians walking on the selected route. It aimed at collecting pedestrians' perceptions about the pavements, general characteristics of sidewalks and their importance in walking.

This pioneering and innovative study carried out in Braga demonstrates that the pavement types of sidewalks and their state of conservation are fundamental aspects for the comfort and safety of pedestrians and to make the use of the pedestrian mode more attractive and convenient. In short, the results show that some sidewalk sections on the selected route are damaged and should be repaired to improve pedestrians' comfort and safety.

### **KEYWORDS:**

Pedestrian infrastructures, sidewalks, pavements, sidewalk quality, pedestrian mobility, Braga.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Enquadramento temático</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>5</b>
1.2.1. Objetivo geral.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
<b>2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. Andar a pé: um modo de deslocação sustentável e saudável</b> .....	<b>7</b>
2.1.1. Andar a pé: características gerais .....	8
2.1.2. Rede pedonal: definição e características .....	10
<b>2.2. Fatores que influenciam a utilização do modo pedonal</b> .....	<b>10</b>
2.2.1. Introdução .....	10
2.2.2. Diversidade de usos do solo .....	11
2.2.3. Densidade do uso do solo (densidade populacional) .....	12
2.2.4. Acessibilidade a serviços e equipamentos.....	13
2.2.5. Conectividade das ruas .....	13
2.2.6. Segurança dos peões em relação ao tráfego automóvel .....	14
2.2.7. Segurança dos peões em relação à criminalidade.....	15
2.2.8. Desenho urbano .....	16
<b>2.3. Infraestruturas pedonais</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4. Os passeios como infraestrutura essencial para o modo pedonal</b> .....	<b>20</b>
2.4.1. Introdução .....	20
2.4.2. Características gerais dos passeios .....	21
2.4.3. Largura dos passeios .....	25
2.4.4. Inclinação ou declive dos passeios .....	27
2.4.5. Obstáculos nos passeios .....	28
2.4.6. Condição e estado de conservação dos passeios (deformações, limpeza).....	29
2.4.7. Ambiente natural (presença de árvores e vegetação) .....	29
2.4.8. Iluminação pública.....	30
2.4.9. Mobiliário urbano de apoio aos peões.....	30

<b>2.5. Influência dos pavimentos no conforto e segurança do modo pedonal .....</b>	<b>31</b>
<b>2.6. Tipos de pavimentos dos passeios .....</b>	<b>33</b>
2.6.1. Introdução .....	33
2.6.2. Blocos de betão .....	34
2.6.3. Blocos ou cubos de pedra .....	35
2.6.4. Lajes de pedra natural .....	37
2.6.5. Gravelha ou solo estabilizado .....	37
2.6.6. Betão betuminoso .....	38
2.6.7. Pavimentos cerâmicos .....	39
2.6.8. Argamassa de cimento .....	40
<b>3. METODOLOGIA E CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1. Análise objetiva .....</b>	<b>43</b>
3.1.1. Irregularidade .....	43
3.1.2. Atrito .....	48
3.1.3. Textura .....	51
3.1.4. Aquisição de dados sobre os diversos tipos de pavimento .....	54
3.1.5. Conforto térmico .....	54
3.1.6. Albedo .....	57
<b>3.2. Análise subjetiva .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3. Caso de estudo .....</b>	<b>60</b>
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
<b>4.1. Caracterização geral dos passeios ao longo do percurso .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2. Resultados dos ensaios aos pavimentos dos passeios (análise objetiva) .....</b>	<b>68</b>
4.2.1. Irregularidade .....	69
4.2.2. Atrito .....	74
4.2.3. Textura .....	75
4.2.4. Conforto térmico .....	77
4.2.5. Albedo .....	81
<b>4.3. Resultados dos inquéritos (análise subjetiva) .....</b>	<b>82</b>
4.3.1. Caracterização dos inquiridos .....	82
4.3.2. Utilização do modo pedonal como modo de transporte e hábitos de andar a pé .....	83
4.3.3. Avaliação geral dos tipos de pavimentos .....	84

4.3.4. Avaliação geral das condições específicas dos passeios no local do inquérito .....	87
4.3.5. Sugestões dos peões inquiridos para melhorar as condições oferecidas pelos passeios em geral na cidade de Braga .....	88
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO I - COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA AO DESLIZAMENTO (PÊNDELO BRITÂNICO) .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO II - INQUÉRITO .....</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de diferenciação das zonas dos passeios (IMT, 2020b) .....	22
Figura 2 – Exemplo de diferenciação das duas zonas dos passeios mais usuais (IMT, 2020b) .....	23
Figura 3 – Esquema representativo da estrutura hierárquica de uma rede viária (Seco <i>et al.</i> , 2008b) .....	24
Figura 4 – Exemplo de distâncias de largura efetivas e de reserva de obstáculos (adaptado de TRB, 2010, citado em IMT, 2020b) .....	26
Figura 5 – Pavimento em blocos de betão: (a) em formato retangular no largo Monte de Arcos, em Braga; (b) em formato hexagonal na rua Nova de Santa Cruz, em Braga .....	34
Figura 6 – Pavimento em blocos de pedra na praça da Galiza, em Braga .....	35
Figura 7 – Pavimento em calçada à Portuguesa na rua Conselheiro Januário, em Braga .....	36
Figura 8 – Pavimento em lajes de pedra natural na rua Gabriel Pereira de Castro, em Braga .....	37
Figura 9 – Pavimento em gravilha (Google, 2023) .....	38
Figura 10 – Pavimento em betão betuminoso na Av. 31 de Janeiro, em Braga (Google Maps, 2023) .....	39
Figura 11 – Pavimento cerâmico na rua 25 de Abril em Braga .....	39
Figura 12 – Pavimento em argamassa na rua Conselheiro Januário em Braga .....	40
Figura 13 – Esquema síntese com as principais etapas da metodologia para avaliação dos pavimentos dos passeios .....	43
Figura 14 – Ensaio com a régua de 3 metros na calçada à Portuguesa em Braga (à esquerda) e laser com viseira de proteção do sol (à direita) .....	46
Figura 15 – Acelerómetro colocado no carrinho de bebé e painel do <i>software</i> utilizado para registo das medições no computador portátil .....	47
Figura 16 – <i>Encoder</i> rotativo colocado na roda do carrinho de bebé para medição da distância percorrida .....	47
Figura 17 – Pêndulo Britânico utilizado para medir o atrito .....	49
Figura 18 – Descrição do pêndulo Britânico (à esquerda) (Santos, 2007b); ensaio feito com o pêndulo Britânico num pavimento em Braga (à direita) .....	50
Figura 19 – Ilustração do princípio do método da mancha de areia (Freitas & Pereira, 2008) .....	52
Figura 20 – Ilustração dos termos linha de base, profundidade do perfil (PD) e profundidade média do perfil (MPD) (adaptado de ISO 13473-1:2011) .....	52

Figura 21 – Ensaio para medição dos perfis de superfície para determinação da profundidade média do perfil num pavimento de lajes de pedra, em Braga .....	53
Figura 22 – Ecrã interativo do <i>software</i> utilizado na aquisição de dados .....	54
Figura 23 – Temperatura registada na superfície do passeio com blocos de betão com o termómetro de infravermelhos .....	56
Figura 24 – Câmara termográfica (à esquerda) (Google, 2023), imagem térmica do pavimento em calçada à Portuguesa (no centro) e correspondente do pavimento em calçada à Portuguesa (à direita), em Braga .....	56
Figura 25 – Sensor infravermelho de temperatura colocado no carrinho de bebé para medição contínua da temperatura da superfície do pavimento .....	57
Figura 26 – Piranómetro devidamente montado no tripé para medição do albedo .....	58
Figura 27 – Piranómetro devidamente posicionado e alinhado para medir a radiação solar emitida, à esquerda, e a radiação solar refletida, à direita.....	59
Figura 28 – Percurso pedonal escolhido para caso de estudo na cidade de Braga (Google Maps, 2023) .....	61
Figura 29 – Mapa com a localização dos sete pontos onde decorreram os ensaios (Google Earth, 2023) .....	63
Figura 30 – Sete locais onde foram realizados os ensaios pontuais .....	63
Figura 31 – Blocos de betão levantados nas caldeiras das árvores na rua Conselheiro Bento Miguel, em Braga (Google Maps, 2023) .....	65
Figura 32 – Argamassa fendilhada na rua Conselheiro Januário, em Braga .....	66
Figura 33 – Desagregação de materiais na rua Conselheiro Januário, em Braga (à esquerda) e falta de pavimentação na rua do Taxa, em Braga (à direita) .....	66
Figura 34 – Desagregação dos materiais de pavimentação na rua do Taxa, em Braga .....	67
Figura 35 – Passeios estreitos na rua Conselheiro Januário (à esquerda) (Google Maps) e com obstáculos na rua do Taxa (à direita) .....	67
Figura 36 – Extensão em função do tipo de pavimento existente nos passeios do percurso pedonal em estudo .....	68
Figura 37 – Distribuição dos vários tipos de pavimento dos passeios ao longo do percurso em estudo e identificação dos sete locais de análise pontual .....	69
Figura 38 – Perfis obtidos com a régua de 3 metros para determinação da irregularidade dos passeios nos sete pontos em análise.....	70
Figura 39 – Método utilizado para determinar a irregularidade média dos passeios para um perfil teórico de ajuste linear (à esquerda) ou de Gauss, de 3º grau (à direita) .....	71

Figura 40 – Irregularidade média dos passeios nos pontos em análise considerando os desvios em relação a um ajuste teórico linear ou de Gauss, de 3º grau.....	72
Figura 41 – Valores de aceleração medidos com o acelerómetro instalado no carrinho de bebé ao longo de todo o percurso e identificação dos vários tipos de pavimento.....	73
Figura 42 – Resultados do ensaio do pêndulo Britânico nos sete pontos selecionados.....	74
Figura 43 – Levantamento de perfis com a régua de 3 metros (esquerda) e gráfico dos dezasseis perfis obtidos (direita) para cálculo do MPD do pavimento em argamassa no ponto P4.....	75
Figura 44 – Exemplo da superfície em 3D que resultou dos dezasseis perfis do pavimento em argamassa levantados no ponto P4.....	75
Figura 45 – Textura (MPD e ETD) dos pavimentos nos sete pontos em estudo.....	76
Figura 46 – Dados das temperaturas e do albedo registados nos sete pontos.....	77
Figura 47 – Temperatura registada na superfície do passeio ao longo de todo o percurso e indicação dos tipos de pavimento e dos sete pontos onde foram realizados ensaios.....	78
Figura 48 – Imagens térmicas da calçada à Portuguesa (esquerda) e da transição do passeio para o pavimento betuminoso (direita) que mostram o efeito da cor na temperatura registada nos passeios.....	79
Figura 49 – Imagem térmica de um pavimento em blocos de betão numa zona de transição sol/sombra, que mostra o efeito do sombreamento na temperatura registada nos passeios.....	80
Figura 50 – Imagens térmicas de pavimentos em blocos pedra (esquerda) e de betão (direita) que mostram a perda de temperatura por convecção na zona das juntas.....	80
Figura 51 – Gráfico com os resultados do albedo nos sete locais pontuais.....	81
Figura 52 – Regularidade com que os inquiridos andam a pé como forma de transporte.....	83
Figura 53 – Tipos de pavimento nos passeios preferidos pelos inquiridos.....	84
Figura 54 – Avaliação dos pavimentos em função das suas características.....	85
Figura 55 – Avaliação de outras características gerais os passeios.....	86

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenciação das zonas dos passeios (NZTA, 2009).....	22
Tabela 2 – Largura mínima de passeios em função do tipo de obstáculo (Seco <i>et al.</i> , 2008a).....	27
Tabela 3 – Aderência e conforto dos materiais para percursos pedonais (adaptado de CEREMA, 2019).....	33
Tabela 4 – Valores de referência do ensaio do pêndulo Britânico (adaptado da norma europeia EN 13036-4) .....	51
Tabela 5 – Descrição do percurso com nome da rua, lado da rua e tipo de pavimento .....	62
Tabela 6 – Género e idade dos inquiridos .....	82
Tabela 7 – Incapacidade e origem dos inquiridos.....	83
Tabela 8 – Motivos que justificam a escolha dos inquiridos por determinado tipo de pavimento nos passeios.....	85
Tabela 9 – Avaliação média das condições dos pavimentos nos locais do inquérito .....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP –	Associação Brasileira de Pavimentação
ANSR –	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
BPN –	<i>British Pendulum Number</i> (Número do Pêndulo Britânico)
CCDR –	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CEREMA –	<i>Centre for Studies and Expertise on Risks, the Environment, Mobility and Urban Planning</i>
CMB –	Câmara Municipal de Braga
CMG –	Câmara Municipal de Guimarães
CML –	Câmara Municipal de Lisboa
CO <sub>2</sub> –	Dióxido de Carbono
CREA-BA –	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia, Brasil
DETR –	<i>Department of the Environment, Transport and the Regions</i>
EN –	<i>European Norm</i> (Norma Europeia)
ETD –	<i>Estimated Texture Depth</i> (Profundidade Estimada da Textura)
FHWA –	<i>Federal Highway Administration, United States Department of Transportation</i> (Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos)
GSLLP –	<i>Goidel &amp; Siegel, LLP</i>
IMT –	Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P.
IMTT –	Instituto de Mobilidade e Transportes Terrestres, I.P.
IRP –	Índice Regularidade do Passeio
ITE –	<i>Institute of Transportation Engineers</i>
MPA –	<i>Mineral Products Association</i> , London (Associação de Produtos Minerais)
MPD –	<i>Mean Profile Depth</i> (Profundidade Média de Perfil)

- MTD – *Mean Texture Depth* (Profundidade Média da Textura)
- NACTO – *National Association of City Transportation Officials*
- NO<sub>x</sub> – Óxidos de Azoto
- NZTA – *New Zealand Transport Agency*
- OMS – Organização Mundial de Saúde
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PD – *Profile Depth* (Profundidade do Perfil)
- PSP – Prefeitura de São Paulo
- PTV – *Pendulum Test Value* (resultado do ensaio de Pêndulo Britânico)
- SCRIM – *Sideway-Force Coefficient Road Investigation Machine*
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- TRB – *Transportation Research Board*
- TRL – *Transport Research Laboratory*

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento temático

As alterações climáticas são sucessivamente notícia nos diversos meios de comunicação, assim como as consequências graves que lhes estão associadas. De modo a mitigar as consequências resultantes das alterações climáticas, tem-se procurado implementar várias mudanças nos hábitos de vida quotidianos, tais como a substituição das deslocações com modos motorizados nos meios urbanos por deslocações pedonais. Assim, atualmente, a mobilidade urbana e os modos suaves de transporte estão na ordem do dia.

A aplicação dos princípios da sustentabilidade à mobilidade urbana implica a adoção de um conjunto de políticas e medidas que fomentem a utilização de modos de transporte menos poluentes, mais económicos e equitativos, ou seja, mais sustentáveis, que se traduzem no modo pedonal e ciclável (Ribeiro & Mendes, 2010).

Caminhar é a forma mais antiga e simples de mobilidade humana. Todos nós somos peões e as pessoas caminham por vários motivos. Muitas pessoas vão a pé para os transportes públicos, algumas vão diretamente para os seus destinos quotidianos, como para o trabalho e para a escola, para fazer compras, enquanto outras pessoas caminham apenas por recreio. Independentemente do motivo da deslocação, caminhar é geralmente o primeiro e o último modo usado, fornecendo uma importante ligação entre o uso do solo e os modos de transporte motorizados. Portanto, andar a pé como meio de transporte principal ou secundário é uma parte essencial da mobilidade (Fonseca *et al.*, 2020).

O interesse pela capacidade de andar a pé geralmente traz benefícios em dois domínios principais. No domínio ambiental, andar a pé é visto como um meio de transporte sustentável que deve ser usado sempre que possível, principalmente para viagens curtas, para reduzir os impactos negativos dos veículos motorizados, como a emissão de poluentes, de ruído e o congestionamento do tráfego (Ellis *et al.*, 2016; Ribeiro & Hoffmann, 2018; Taleai & Amiri, 2017). No domínio da saúde, andar a pé é uma forma de realizar atividade física que auxilia na prevenção de diversas doenças. A inatividade física é o principal fator de risco para a mortalidade prematura e para vários problemas de saúde associados a estilos de vida sedentários, como obesidade, diabetes, cancro (Chandrasekhar *et al.*, 2019; Creatore *et al.*, 2016; Glazier *et al.*, 2014; Howell *et al.*, 2019), depressão (Berke *et al.*, 2007; James *et al.*, 2017), entre outros.

Nos últimos cem anos, os ambientes urbanos foram projetados para o fluxo de tráfego de veículos. Com o aumento da população urbana, as cidades construíram sistemas rodoviários sofisticados para facilitar o fluxo de tráfego de muitos milhares de veículos. Conseqüentemente, o modo pedonal foi ignorado e até certo ponto excluído do planeamento urbano. Apenas recentemente as políticas de apoio aos modos suaves (bicicleta, a pé, entre outros) apareceram na agenda das cidades europeias. Muitas autoridades locais têm implementado uma série de atividades para estimular as pessoas a deslocarem-se a pé devido aos seus benefícios ambientais e para a saúde (Fonseca *et al.*, 2020).

Como a promoção do modo pedonal é um ponto nas agendas políticas, um número crescente de especialistas em planeamento urbano tem-se interessado em melhorar a capacidade e as condições para se andar a pé (Kim *et al.*, 2014).

As deslocações a pé podem substituir muitas viagens curtas de carro, que contribuem fortemente para a poluição e o congestionamento urbanos. Na Europa, 30% das viagens de carro em ambiente urbano são menores que 3 km e 50% são menores que 5 km (Hooftman *et al.*, 2018). Contudo, para o modo pedonal ter cada vez mais utilizadores é necessário que existam boas condições para circular a pé, nomeadamente em termos das infraestruturas pedonais: passeios largos, desobstruídos, com pavimentos adequados e devidamente preservados, para os peões circulem com conforto e segurança.

Caso se queira desenvolver o modo pedonal como um meio de transporte urbano diário, as cidades precisam de ser atrativas para os peões. Uma rede pedonal segura e acessível é essencial para fornecer um sistema de mobilidade urbana equitativo e sustentável, de modo que andar a pé possa ser um meio de transporte alternativo e competitivo ao carro em viagens urbanas curtas (Fonseca *et al.*, 2020).

As infraestruturas pedonais são elementos necessários para melhorar a qualidade do ambiente pedonal. Os passeios são a unidade básica de mobilidade em qualquer sistema de transporte. Os passeios geralmente são implantados de ambos os lados das ruas, e fornecem um corredor seguro para os peões caminharem. Por estarem separados do tráfego motorizado, os passeios aumentam a segurança dos peões ao restringir a interação peão-veículo. As características e o estado dos passeios são atributos que tornam a utilização do modo pedonal mais ou menos atrativa, conveniente e segura (Wang *et al.*, 2016). Os passeios devem ser projetados para responder às necessidades de todos os utilizadores: pessoas de diferentes idades, pessoas com bolsas e carrinhos de bebé, pessoas que usam cadeiras de rodas e outros dispositivos de assistência. A falta de passeios que não respondam às necessidades dos peões incentiva as pessoas a deslocarem-se em meios de transporte motorizados (Fonseca *et al.*, 2020).

As características dos passeios também têm um impacto significativo no conforto, na segurança e na experiência geral do peão (Corazza *et al.*, 2016). Andar em passeios irregulares, ter pavimentos com saliências, fissuras, buracos, deformações e rebaixamentos, cria dificuldades no controlo do equilíbrio e aumenta o risco de escorregar e cair. Esse problema é particularmente significativo para pessoas que têm dificuldade em controlar o equilíbrio, como idosos e peões com mobilidade reduzida. Portanto, a superfície do passeio deve ser firme, estável, antiderrapante e inclinada para drenar a água da chuva (Fonseca *et al.*, 2020).

A rede pedonal que compõe um meio urbano é constituída por vários tipos de passeios, e estes, por sua vez, poderão ser compostos por um vasto leque de materiais e soluções construtivas (Oliver-Solà *et al.*, 2009). Independentemente do tipo de solução escolhida para os passeios, esta deve apresentar uma superfície regular, contínua, firme e antiderrapante em qualquer condição meteorológica, e os passeios devem ser executados sem mudanças abruptas de nível ou inclinações que dificultem a circulação de peões (PSP, 2013), para não provocarem o aumento do risco de quedas e lesões relacionadas com as mesmas, que estão associadas a custos médicos e socioeconómicos, principalmente na população mais envelhecida (Thies *et al.*, 2005).

O material do pavimento é ainda importante para a função e estética da rua, na estrada e nos passeios (Zegeer *et al.*, 2002). Contudo, a solução escolhida terá de ser pensada de acordo com o tipo de utilização a que será sujeita e o local em que será implementada. Por exemplo, passeios em paralelepípedos poderão ser ruidosos e “irregulares para os peões”, mas a sua utilização na estrada poderá contribuir para a acalmia do tráfego (Zegeer *et al.*, 2002).

A superfície de passeios preferida e mais usada na América do Norte é o betão, visto que tem um maior tempo útil de serviço e requer pouca manutenção (FHWA, 2013). Na Europa, a maioria dos passeios são feitos em betão betuminoso, pedra, pavimentos cerâmicos, entre outros (Hampson, 2006).

Existe uma grande variedade de tipologias de pavimentos disponíveis para a rede pedonal no espaço urbano. Contudo, nem todos são apropriados em todas as situações, devendo ter-se em atenção vários aspetos. Segundo Pimenta (2008), existem diversos parâmetros para a avaliação das tipologias de pavimento que podem ser agrupados em aspetos funcionais e aspetos estéticos. Como aspetos funcionais são considerados a resistência, aderência, permeabilidade, desgaste, conforto do utilizador e manutenção. Como aspetos estéticos são considerados a estereotomia, padrão, textura e cor.

Passeios inadequados também podem resultar da falta de realização de operações regulares de manutenção e limpeza para reabilitar a sua uniformidade após degradações causadas por acidentes, fenómenos meteorológicos e instalação de equipamentos. O uso de materiais de baixa qualidade na superfície dos passeios pode contribuir para acelerar a degradação causada pelo uso diário e por acidentes. A manutenção inadequada pode não apenas afastar os peões, mas também reduzir a superfície que pode ser percorrida a pé e incentivá-los a andar nas faixas de rodagem. Assim, passeios com manutenção inadequada não são seguros, confortáveis e atrativos para os peões (Corazza *et al.*, 2016).

Recentemente, têm surgido várias notícias sobre os problemas resultantes da utilização da calçada à Portuguesa nos passeios. Nuno Markl, conhecido humorista e locutor de rádio português, partilhou na rede social Instagram uma publicação a sugerir a substituição da calçada à Portuguesa nas ruas de Lisboa isto porque, no regresso da chuva sofreu uma queda:

“É bonita? É. Já a trocávamos por outra coisa? Sim, por favor. Era pegar nuns quantos desenhos bonitos feitos com estes calhaus e expor tudo num, vá, Grande Museu da Calçada Portuguesa. E depois andar por essas ruas a substituir isto por chão decente, normal, antiderrapante, para todo o tipo de sapato, idade, condição meteorológica. É que isto é uma constante receita para o desastre – e desastre potencialmente perigoso. Hoje fugi da calçada Portuguesa para evitar o previsível tralho. Acabei por dá-lo numa passadeira, ao pisar uma das riscas brancas – também elas pintadas numa tinta brilhante e deslizante que parece provar que há nas instituições que cuidam do piso nacional uma objetiva tentativa de nos matar a todos – sobretudo quando chove.”

Após esta partilha, foram vários os comentários deixados pelos seguidores a apoiar a ideia de substituir a calçada à Portuguesa. Porém, também surgiram duras críticas depois de ter sugerido substituir a calçada à Portuguesa pois dizem ser “chão português”.

Também em Braga surgiram várias notícias devido à substituição da calçada à Portuguesa por betão que gerou indignação na população bracarense. Na rua 25 de Abril, em pleno centro da cidade de Braga, foi substituída a calçada à Portuguesa por blocos de betão, algo que foi contestado pelos moradores, por considerarem que esta obra desvaloriza aquela área da cidade, contígua à Avenida da Liberdade. Contudo, a intervenção no quarteirão da Igreja de São Lázaro, teve como objetivo a melhoria do modo pedonal neste local, atuando de modo a corresponder aos princípios essenciais da mobilidade inclusiva,

com um aumento da acessibilidade e da segurança rodoviária. Esta intervenção procurou dar ao quarteirão um papel central na promoção das deslocações pedonais, uma vez que se trata de um local por onde passa diariamente um grande número de pessoas (CMB, 2022). A calçada à Portuguesa foi substituída por blocos de betão, que é considerado um pavimento menos escorregadio e mais confortável para os peões.

Recentemente, em Braga, o Município também está a realizar uma intervenção profunda em uma das mais importantes vias da cidade reforçando assim o modo pedonal e a acessibilidade e segurança rodoviária. A Avenida da Liberdade está a ser intervencionada para a inserção de vias cicláveis autónomas em relação à faixa de rodagem, novas passagens pedonais sobrelevadas ao nível dos passeios, eliminação de barreiras à circulação inclusiva, plantação de árvores, semáforos inteligentes e várias melhorias em termos de mobilidade e segurança. Esta intervenção tem como objetivo beneficiar a imagem urbana da cidade e contribuir para uma evolução muito relevante nos padrões de mobilidade e de qualidade de vida da cidade e na diminuição significativa das emissões de gases com efeito de estufa. Além disso, o projeto prevê a implantação de novo mobiliário urbano, iluminação pública, sinalização e demais infraestruturas (CMB, 2023).

A Agenda 2030 e os dezassete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU são a visão comum para a Humanidade, um contrato entre os líderes mundiais e os povos e “uma lista das coisas a fazer em nome dos povos e do planeta”. No Objetivo 11, cidades e comunidades sustentáveis, é possível verificar que uns dos objetivos é, até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planeamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis, em todos os países, e ainda proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência. Esta Dissertação procura ser um pequeno contributo para esse grande objetivo das Nações Unidas.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral desta dissertação é o de avaliar de que forma as condições dos passeios, nomeadamente o tipo e características dos pavimentos dos passeios, influenciam a circulação dos peões, nomeadamente, em termos de conforto e de segurança.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Além do objetivo geral deste trabalho, ainda foram identificados os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar de que forma determinados parâmetros relacionados com os passeios, como o tipo de pavimento usado e o estado de conservação dos pavimentos, influenciam as deslocações a pé.
- Avaliar atributos específicos associados aos diferentes tipos de materiais ou superfícies dos pavimentos dos passeios, como o atrito, irregularidade, textura, conforto térmico e albedo.
- Determinar através de inquéritos a perceção dos peões relativamente às condições dos passeios, nomeadamente, dos materiais usados e do estado de conservação, e do seu efeito no conforto e segurança das deslocações a pé.
- Aplicar a metodologia a um caso de estudo (Braga), onde serão avaliadas as condições que os passeios ao longo de um percurso entre o Centro Coordenador de Transportes de Braga (CCTB) e o Campus de Gualtar da Universidade do Minho oferecem aos peões.

## 2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Andar a pé: um modo de deslocação sustentável e saudável

O transporte automóvel é um dos principais contribuintes para as emissões de CO<sub>2</sub> e outros poluentes atmosféricos (e.g., NO<sub>x</sub>, material particulado) em todas as principais cidades do mundo. A crescente preocupação com as emissões dos transportes e com o consumo de recursos energéticos não renováveis levou ao desenvolvimento de várias políticas, padrões e técnicas de mitigação destes efeitos negativos (Mikalsen *et al.*, 2009).

A sustentabilidade é um dos vetores mais importantes para a implementação de alterações estruturantes e funcionais nos tecidos urbanos consolidados. Os problemas associados às alterações climáticas, poluição e diminuição dos recursos naturais são alvo de uma permanente atenção e preocupação da opinião pública e têm cada vez mais impacto no comportamento das pessoas e respetivos hábitos e padrões de consumo (Ribeiro & Mendes, 2010).

Nesse sentido, as deslocações a pé têm repercussões ao nível da redução da pegada ecológica, consumo de energia e dependência do carro (Handy & Mokhtarian, 2008; Lee & Talen, 2014).

A atividade física promove uma vida saudável e contribui para o desenvolvimento sustentável. Andar a pé é um meio de transporte sustentável disponível para as pessoas sem custos adicionais, e pode aumentar significativamente a aptidão física das pessoas (Wei *et al.*, 2016).

A capacidade que o meio proporciona para andar a pé (*Walkability*) é vista como um dos conceitos mais importantes para um desenvolvimento urbano e uma mobilidade mais sustentáveis (Forsyth & Southworth, 2008). Os benefícios pessoais, sociais, económicos e ambientais de andar a pé, tanto como atividade de lazer, como meio de transporte, estão bem documentados: deslocações a pé reduzem o congestionamento do tráfego e a poluição do ar, são benéficas para a saúde e para o bem-estar dos indivíduos, incrementam os preços dos imóveis e melhoram a sociabilidade e vitalidade dos espaços urbanos (Bahrainy & Khosravi, 2013; Kim *et al.*, 2014; Lee & Talen, 2014; Longo *et al.*, 2015).

A promoção de redes pedonais é indispensável para incentivar a utilização do modo pedonal e, assim, a sustentabilidade urbana, nas várias vertentes: ambiental, social, económica e cultural (CML, 2013).

Vários estudos têm mostrado benefícios significativos que derivam da prática regular e diária de exercício físico. Andar a pé é a principal opção para aumentar a atividade física em populações sedentárias (Morris

& Hardman, 1997). A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda 10 000 passos por dia ou praticar pelo menos 150 minutos de atividade aeróbica moderada por semana ou 75 minutos de uma atividade aeróbica vigorosa por semana. Até mesmo níveis moderados ou baixos de atividade física, realizada de forma regular, são capazes de reduzir o risco de doença coronária, diabetes, trombozes e outras doenças crónicas. Para além disso, permite reduzir os custos relacionados com cuidados de saúde, contribuindo para uma maior autonomia e independência das pessoas, especialmente em idades avançadas. Por outro lado, permite uma maior interação entre pessoas e que estas socializem durante as viagens, sobretudo em comparação com as deslocações em veículo automóvel privado (Ribeiro & Mendes, 2010).

### 2.1.1. Andar a pé: características gerais

Andar a pé pode ser um meio de transporte alternativo para viagens urbanas curtas de cerca de 1 km (apenas 10 minutos a pé). Mais deslocações a pé significa diminuir as emissões nocivas dos veículos, o ruído do tráfego, o congestionamento do tráfego e o consumo de recursos não renováveis. Assim, andar mais a pé reduz o trânsito automóvel, contribuindo para cidades mais sustentáveis e habitáveis (Fonseca *et al.*, 2020).

O modo pedonal também é o meio de transporte mais barato para todas as pessoas. Quando comparada com os carros, as deslocações a pé reduzem os gastos com combustível, manutenção do carro e estacionamento e, além disso, evitam a perda de tempo em congestionamentos ou à procura de lugar para estacionar. Andar a pé também é bom para os negócios, pois alguns estudos como o de Bushell *et al.* (2013) mostram que pessoas que andam a pé em ruas comerciais gastam mais tempo e dinheiro do que aquelas que se deslocam de carro. As casas localizadas em áreas com melhores condições para se andar a pé tendem a ser mais atraentes e caras do que as situadas em espaços menos favoráveis para os peões (Fonseca *et al.*, 2020).

Além disso, deslocações a pé resolvem muitos problemas sociais e económicos por meio da interação social. Como andar a pé pode ser uma atividade muito interativa, aumenta a coesão social. As ruas pedonais tendem a atrair mais pessoas, o que aumenta o bem-estar e o nível de segurança. As cidades que podem ser percorridas a pé são, portanto, espaços urbanos mais habitáveis, atraentes e saudáveis (Fonseca *et al.*, 2020).

Considerando os benefícios acima indicados, o modo pedonal é muito importante para as políticas de transporte sustentáveis. O desenvolvimento de cidades que podem ser percorridas a pé permite criar

sistemas de transporte acessíveis e equitativos para toda a comunidade urbana. No entanto, o modo pedonal é difícil de avaliar e quantificar, devido aos múltiplos atributos do ambiente construído e fatores subjetivos, que estão relacionados com o comportamento humano (Papageorgiou & Demetriou, 2019) e influenciam a escolha do modo de transporte para chegar ao destino (Fonseca *et al.*, 2020).

*Walkability* é um conceito multidimensional (*walk+ability*), que pode ser definido como a capacidade que o ambiente construído apresenta para se andar a pé (Habibian & Hosseinzadeh, 2018; Taleai & Amiri, 2017). Este conceito é frequentemente avaliado considerando um número variável de atributos do ambiente construído e das infraestruturas pedonais. No entanto, não há consenso sobre como medir o nível de *walkability* e como analisar os diversos atributos que influenciam o modo pedonal (Shashank & Schuurman, 2019).

O ambiente construído é o suporte físico de todas as atividades, serviços e infraestruturas existentes nos espaços urbanos. Descrito por vários atributos, o ambiente construído é cada vez mais reconhecido como um impulsionador fundamental do modo pedonal e da atividade física (Jacobs *et al.*, 2021; Liao *et al.*, 2020). Os recursos do ambiente construído podem ser geridos por meio de políticas de planeamento adequadas e, portanto, as ações para melhorar a mobilidade são frequentemente associadas à qualidade do ambiente construído. Consequentemente, a qualidade do ambiente construído tornou-se um elemento essencial do planeamento e do design urbano (Wang & Yang, 2019).

As ações para promover a capacidade pedonal concentraram-se principalmente em tornar esta forma de viagem conveniente e confortável: melhorando a qualidade geral dos ambientes construídos (Kim *et al.*, 2014); fornecendo infraestruturas para andar a pé (Koh & Wong, 2013; Li *et al.*, 2013; Longo *et al.*, 2015) e áreas verdes (Panagopoulos *et al.*, 2016); e melhorando a ligação física e funcional entre os espaços urbanos (Kasemsuppakorn & Karimi, 2013; Mateo-Babiano, 2016). Compreender os fatores que influenciam a capacidade de andar a pé e as perceções dos peões permite que os planeadores construam cidades mais acessíveis, inclusivas e habitáveis. Como alguns autores mostram, as condições fornecidas aos peões influenciam a sua decisão de usar o modo pedonal, bem como aspetos como a distância percorrida, o tempo de deslocação e o nível de satisfação de andar a pé (Kim *et al.*, 2014).

Nesse sentido, um dos objetivos das políticas de planeamento urbano atuais consiste em melhorar a capacidade e a qualidade dos espaços para as pessoas andarem a pé e assegurar a conectividade da rede pedonal, ao inverso do que ocorria no passado em que se dava pouca atenção aos peões.

Conforme destacam Li *et al.* (2013) o modo pedonal costumava ser o último aspeto a ser considerado no planeamento urbano. No entanto, como atualmente andar a pé e de bicicleta estão a tornar-se mais importantes, as cidades também devem ser planeadas para os modos ativos, que são um critério-chave do processo de planeamento e design urbano (Vojnovic *et al.*, 2006).

### 2.1.2. Rede pedonal: definição e características

Uma rede pedonal consiste num conjunto de ligações, que representam ruas, e de nós, que representam travessias. No espaço urbano, com exceção das vias arteriais, todas as ruas devem ser transitáveis, proporcionando liberdade de movimento aos peões. Na literatura, as redes pedonais costumam ser baseadas na rede rodoviária. De acordo com essa visão, os peões podem mover-se pela rede da mesma forma que os carros, independentemente da presença de passeios e cruzamentos e da localização de destinos em ambos os lados da rua. No entanto, as redes de peões podem ser significativamente diferentes das redes rodoviárias, pois devem incorporar infraestruturas pedonais formais (passeios, travessias, túneis e passagens superiores pedonais) e informais (atalhos, trilhos por espaços verdes, passagens por edifícios, etc.), que constituem a "rede pedonal real" (Ellis *et al.*, 2016).

A rede pedonal constitui a base do sistema de deslocações pedonais. A rede pedonal é tanto ou mais importante que a rede rodoviária ou ferroviária pois permite o acesso também a todos os outros modos de deslocação. A continuidade e conectividade da rede são condições necessárias para a existência daquilo a que se pode entender como rede pedonal (CML, 2013).

Assim, a rede pedonal é indiscutivelmente a rede de transporte mais complexa encontrada nos ambientes urbanos. Esta permite aceder a todos os outros modos de transporte, tornando-a central para análises baseadas em rede, incluindo aquelas que se relacionam com a acessibilidade, conectividade e mobilidade de peões (Zhang & Zhang, 2019).

## **2.2. Fatores que influenciam a utilização do modo pedonal**

### 2.2.1. Introdução

A opção de andar a pé e o percurso a seguir são decisões diferentes, mas relacionadas, uma vez que são influenciadas por alguns fatores comuns. As decisões dos indivíduos relativamente ao modo de transporte a utilizar para chegar a um certo destino são altamente complexas e normalmente envolvem

a consideração de vários fatores relacionados com: i) características do ambiente construído, incluindo distância e tempo da deslocação (conveniência), facilidade, conforto, proteção, segurança, proximidade e atratividade do trajeto, etc.; e ii) características individuais, como a idade, género, rendimento, tamanho da família, posse de carro, dificuldades de mobilidade, etc. (Agrawal *et al.*, 2008; Koh & Wong, 2013; Nasir *et al.*, 2014; Ferrer *et al.*, 2015; Mateo-Babiano, 2016).

A literatura sobre os fatores que afetam a escolha do modo pedonal aumentou significativamente nas últimas duas décadas. A influência do ambiente construído (ou físico) no modo pedonal tem sido um dos tópicos mais analisados (Cervero *et al.*, 2009; Walford *et al.*, 2011; Nasir *et al.*, 2014; Ferrer *et al.*, 2015; Lamíquiz & López-Domínguez, 2015). Isso inclui o estudo do modo como fatores à escala meso (por exemplo, ao nível do bairro) influenciam a decisão e satisfação de andar a pé, mas também abrange fatores à escala micro (por exemplo, ao nível da rua) que também têm uma influência significativa na experiência e no comportamento do peão. Estudos recentes de revisão da literatura (Fonseca *et al.*, 2022) e ferramentas amplamente utilizadas para estudar a *walkability* (Saelens *et al.*, 2003) revelam que esses fatores podem ser agrupados em seis dimensões principais: usos do solo (diversidade e densidade), acessibilidade, conectividade das ruas, segurança, design urbano e infraestruturas pedonais. Nas subsecções seguintes descreve-se a forma como essas dimensões e respetivos atributos influenciam a decisão e satisfação de andar a pé.

### 2.2.2. Diversidade de usos do solo

O uso do solo é um fator importante que influencia a satisfação e a distribuição dos peões nos espaços urbanos (Bahrainy & Khosravi, 2013; Lamíquiz & López-Domínguez, 2015; Lerman & Omer, 2016). Vários estudos mostram que usos mistos do solo e as áreas comerciais aumentam o volume de peões (Lamíquiz & López-Domínguez, 2015; Lerman & Omer, 2016). Na verdade, áreas com uso misto do solo, permitindo que várias atividades sejam localizadas próximas umas das outras, reduzem a distância a percorrer, o que torna mais conveniente o uso do modo pedonal (Maleki *et al.*, 2012; Azmi & Ahmad, 2015).

A diversidade do uso do solo é, então, um atributo amplamente utilizado em estudos pedonais (Manaugh & Geneidy, 2011; Bahrainy & Khosravi, 2013; Millward *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014; Lamíquiz & López-Domínguez, 2015; Lerman & Omer, 2016) porque tem um impacto significativo na distribuição da população e nos seus movimentos.

### 2.2.3. Densidade do uso do solo (densidade populacional)

A densidade refere-se à concentração de usos do solo dentro de uma área específica. Diferentes tipos de densidades de uso do solo têm sido incluídos nos índices de *walkability*, nomeadamente, densidade populacional e densidade residencial. Densidades de estações de transportes públicos e de serviços também têm sido adotadas, mas em menor grau.

Existem correlações entre áreas residenciais, densidade populacional e movimentos de peões (Christiansen *et al.*, 2014; Peiravian *et al.*, 2014; Lerman & Omer, 2016), bem como entre o uso do solo e a distância.

A densidade populacional/residencial mede o número de habitantes/unidades residenciais numa determinada unidade de superfície (Boulangue *et al.*, 2018; Ribeiro & Hoffmann, 2018). As áreas com alta densidade populacional/residencial são potencialmente as que geram mais peões, tal como se confirma em alguns estudos (Kerr *et al.*, 2013). Há evidências claras de que o aumento da densidade reduz a necessidade de percorrer grandes distâncias para atender às necessidades locais e reduz a dependência de carros para o transporte (Wei *et al.*, 2016). Isso sucede porque áreas com altas densidades populacionais/residenciais atraem comércio e serviços para as suas imediações, reduzindo a distância entre origens e destinos, o que incentiva as deslocações a pé.

Por sua vez, as áreas com baixa densidade residencial mostraram-se menos atrativas para andar a pé, pois muitas vezes estão menos interligadas e têm menor diversidade funcional. Portanto, a densidade populacional/residencial tem sido um dos atributos mais usados em estudos pedonais e nos índices de *walkability* (Habibian & Hosseinzadeh, 2018; Christiansen *et al.*, 2014; Peiravian *et al.*, 2014; Lerman & Omer, 2016).

A densidade de serviços também é um atributo relevante, uma vez que muitas deslocações a pé são feitas para aceder a diversos serviços. Quanto maior a densidade de serviços, maior é o número de necessidades que podem ser satisfeitas numa pequena área, o que incentiva as pessoas a andar a pé em vez de conduzir (Peiravian *et al.*, 2014).

Da mesma forma, áreas com alta densidade de paragens/estações de transporte público são mais atrativas para os peões porque reduzem a distância necessária para se percorrer a pé e para aceder a esses transportes (Todd *et al.*, 2016).

#### 2.2.4. Acessibilidade a serviços e equipamentos

A acessibilidade é uma outra dimensão muito relevante para os peões. Em planeamento, a acessibilidade pode ser descrita como a capacidade das pessoas de chegar a um determinado local fazendo um esforço aceitável (Geurs & van Wee, 2004). A acessibilidade está, assim, associada à distância/proximidade a que certos equipamentos e serviços se encontram (Cervero *et al.*, 2009). O conceito tem ligações particulares com o uso do solo no que diz respeito à qualidade e distribuição espacial das funcionalidades urbanas. Também tem conexões com os meios de transporte considerando a capacidade para um indivíduo percorrer a distância entre uma origem e um destino (Geurs & van Wee, 2004). As deslocações a pé para aceder a outros modos de transporte, principalmente ao transporte público, é muito comum e incentivado (Cubukcu *et al.*, 2015). Por exemplo, Sung *et al.* (2015) descobriram que distâncias mais curtas para o transporte público estimularam a utilização do modo pedonal. Soluções tecnológicas de transporte avançadas, como sistemas de informação de passageiros em tempo real, também podem melhorar a acessibilidade (Velaga *et al.*, 2012). Além do transporte público, o acesso a instalações, como lojas (Koh & Wong, 2013), serviços e equipamentos, como escolas (Christiansen *et al.*, 2014), áreas verdes (Panagopoulos *et al.*, 2016), áreas de uso misto (Cubukcu *et al.*, 2015), entre outros, são destinos que também podem ser considerados de forma similar.

#### 2.2.5. Conectividade das ruas

A conectividade das ruas é vista como tendo um efeito importante no modo pedonal na definição de como as ruas são interligadas (Bahrainy & Khosravi, 2013; Azmi & Ahmad, 2015). A conectividade das ruas pode ser entendida como a disponibilidade de rotas alternativas entre dois pontos e pode ser definida como o número de interseções ou de ruas por unidade de área (Azmi & Ahmad, 2015; Talavera-Garcia & Soria-Lara, 2015; Ellis *et al.*, 2016). Valores elevados de conectividade viária são normalmente encontrados em áreas urbanas com redes viárias mais densas. Um número maior de cruzamentos fornece mais rotas potenciais e, assim, distâncias mais curtas para os destinos (Azmi & Ahmad, 2015).

A conectividade das ruas tem sido considerada em muitos índices de *walkability* (Millward *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014; Lee & Talen, 2014; Peiravian *et al.*, 2014; Gilderbloom *et al.*, 2015; Lerman & Omer, 2016). No entanto, algumas pesquisas também mostram que a conectividade leva a mais travessias das faixas de rodagem, o que implica riscos de segurança para os peões e tempos de espera mais longos

quando existe sinalização luminosa (Ferrer *et al.*, 2015). Assim, as passagens de peões devem ser convenientemente planeadas para assegurar aos peões travessias seguras e convenientes. Além disso, a conectividade tem sido essencialmente avaliada tendo em conta a rede viária e não a rede formal e informal de infraestruturas pedonais. Isso impede que a conectividade da rede real existente para os peões seja estudada em profundidade (Ellis *et al.*, 2016; Fonseca *et al.*, 2022).

#### 2.2.6. Segurança dos peões em relação ao tráfego automóvel

A segurança do peão reflete a capacidade deste se sentir seguro em relação ao trânsito automóvel e inclui fatores como a velocidade de circulação dos veículos, o volume de tráfego, o número de faixas de rodagem, o tipo de travessias, entre outros. Além disso, aspetos individuais (comportamentos dos peões e dos motoristas), aspetos sociais, bem como as políticas de transporte e as regras de trânsito também influenciam a segurança dos peões. As medidas para proteger os peões do trânsito automóvel são fundamentais para criar ambientes mais seguros e confortáveis para se andar a pé (Fonseca *et al.*, 2020).

A segurança em relação ao tráfego significa que os peões devem ser protegidos do tráfego motorizado (Williams *et al.*, 2018). Em 2018, cerca de 4 763 peões morreram nas estradas/ruas da União Europeia. Os peões são utilizadores vulneráveis da via pública devido à sua pequena massa e à falta de proteção em caso de colisão com um veículo (Fonseca *et al.*, 2020).

A segurança em relação ao tráfego é particularmente importante para crianças, idosos e pessoas com mobilidade reduzida. No caso das deslocações para a escola, a utilização de modos ativos de transporte (por exemplo, andar a pé) é fortemente influenciada por questões de segurança (Giles-Corti *et al.*, 2011; Habibian & Hosseinzadeh, 2018). Os peões idosos e com mobilidade reduzida também estão em desvantagem em relação à sua capacidade de se mover em segurança e de forma independente, nomeadamente nas travessias (Galanis *et al.*, 2017).

Um dos atributos mais críticos é a velocidade do tráfego, que se refere à velocidade média dos veículos que passam num ponto. É reconhecido que quanto maior for a velocidade média de circulação do tráfego, maior é risco de segurança a que os peões estão expostos no caso de um atropelamento (Chen & Zhou, 2016; Galanis *et al.*, 2017). A velocidade de tráfego influencia diretamente a sensação de segurança e o conforto dos peões e, portanto, pode influenciar as ruas escolhidas pelos peões para se deslocarem

(Talavera-Garcia & Soria-Lara, 2015). De acordo com alguns estudos, os peões preferem ruas mais tranquilas com menor tráfego do que ruas com maior velocidade de circulação e volume de tráfego (Ferrer *et al.*, 2015). Portanto, reduzir a velocidade do tráfego é fundamental para proporcionar ambientes mais seguros e confortáveis para os peões (Fonseca *et al.*, 2020).

#### 2.2.7. Segurança dos peões em relação à criminalidade

A segurança está também associada à percepção e ao risco de ocorrência de crimes ou de alguma forma de violência na via pública (Ruiz-Padillo *et al.*, 2018). A insegurança pública é um forte impedimento para andar a pé (Foster *et al.*, 2013; Ferrer *et al.*, 2015). A segurança é um fator que influencia tanto a escolha da rota pedonal, como a escolha do modo de transporte. Muitas pessoas não andam a pé em determinados espaços urbanos porque têm medo de serem alvo de alguma forma de violência (por exemplo, assaltos).

Há evidências de que a segurança é afetada por aspetos de planeamento e do uso do solo, como a configuração de ruas e espaços, a presença de edifícios abandonados, a iluminação pública, a manutenção de espaços públicos, entre outros (Lee *et al.*, 2016). Por exemplo, Foster *et al.* (2013) mostraram que a presença de graffiti, lojas fechadas, sem-abrigo e edifícios abandonados aumentam a sensação de insegurança dos peões. A percepção de segurança também é condicionada por aspetos sociais como o volume de peões a circular na rua (Etminani-Ghasrodashti *et al.*, 2018), a ocorrência de atividades indesejáveis/ilícitas como tráfico de droga (Bejleri *et al.*, 2011) e a presença/ausência de policiamento (Ruiz-Padillo *et al.*, 2018).

A iluminação pública aumenta a sensação de segurança e aumenta a atividade dos peões após o anoitecer (Aghaabbasi *et al.*, 2018). A instalação de sistemas de videovigilância nas ruas também dissuade o crime e outras atividades indesejadas, aumentando a percepção de segurança (Aghaabbasi *et al.*, 2018). O aumento do número de polícias tem um efeito positivo no aumento dos níveis de segurança (Larranaga *et al.*, 2018). A manutenção regular de ruas e espaços públicos também aumenta a sensação de segurança. As ruas e os espaços públicos devem estar limpos, livres de graffiti, as fachadas e prédios mantidos em bom estado de conservação e os lotes de terreno devem estar limpos (Fonseca *et al.*, 2020).

Em cidades caracterizadas por violência urbana, a insegurança pública tem sido identificada como o principal impedimento para andar a pé (Larranaga *et al.*, 2018; Ruiz-Padillo *et al.*, 2018). A sensação de

insegurança tende a resultar em adaptações comportamentais. Mudar o trajeto de peões e conduzir em vez de andar a pé são mudanças comportamentais comuns adotadas por peões em cidades com maiores índices de violência urbana. A insegurança também foi identificada como uma barreira para o uso do transporte público, pois as pessoas sentem-se inseguras principalmente nas áreas de ligação e espera, principalmente à noite (Methorst *et al.*, 2010).

#### 2.2.8. Desenho urbano

No sentido mais amplo, o desenho urbano relaciona-se com a forma e com a estrutura física das cidades. Neste caso, o desenho urbano tem como objetivo tornar os espaços urbanos mais atrativos, funcionais e sustentáveis, nomeadamente ao nível dos usos do solo e da organização do espaço. Melhorar a capacidade de andar a pé por meio de um design urbano adequado exige um pensamento cuidadoso sobre como as pessoas usarão o espaço. No entanto, o design também está relacionado com o ambiente disponibilizado aos peões ao nível da rua e do passeio. A esta escala micro, o design visa projetar e construir ambientes atraentes e confortáveis para os peões ao nível dos passeios, tendo em conta aspetos como as características dos passeios, mobiliário urbano, materiais usados, vegetação, etc. Tanto à escala meso, como micro, o design determina a qualidade estética do espaço pedonal. A estética inclui efeitos sensoriais e estímulos que os peões podem experimentar, criando experiências agradáveis enquanto andam a pé (Ferrer *et al.*, 2015).

Numerosas referências indicam que as características estéticas dos espaços urbanos e das ruas têm um impacto significativo na decisão e satisfação de andar a pé (Ewing *et al.*, 2015; Galpern *et al.*, 2018; Werner *et al.*, 2018). Medir objetivamente as características de design é muitas vezes difícil, devido ao envolvimento de avaliações preceptivas e subjetivas. A qualidade estética do desenho urbano é uma questão de opinião. No entanto, alguns autores, como Clemente *et al.* (2005), Ewing & Handy (2009) e Ewing *et al.* (2015) desenvolveram guias e manuais para avaliar de forma objetiva as qualidades estéticas ao nível da rua, enquanto Yin (2017) propôs ferramentas baseadas em SIG para medir objetivamente atributos específicos de design. Nos estudos de *walkability*, quatro dos atributos de design mais usados são a escala humana, a clausura do espaço, a complexidade e a transparência.

- **Escala humana**

A escala humana relaciona-se com o tamanho, textura e articulação dos elementos do espaço construído e à forma como se adequam ao tamanho e proporções dos humanos (Ewing & Handy, 2009). A noção

de escala é altamente dependente de aspetos físicos, como as proporções do edificado, a relação da altura do edificado com a largura da rua, o afastamento do edificado em relação à rua, as dimensões das portas e janelas, as distâncias entre destinos, entre outros. Em conjunto, estes atributos determinam a forma como os espaços urbanos se ajustam às proporções dos humanos, à sua velocidade de deslocação a pé e à conveniência de se andar a pé. A escala humana tem sido descrita como um motivo relevante para andar a pé (Bahrainy & Khosravi, 2013; Phillips *et al.*, 2013).

- **Clausura do espaço**

A clausura do espaço (*enclosure*) reflete a forma como o ambiente construído delimita o ambiente pedonal e confina o espaço urbano e, mais particularmente, como as ruas são definidas por elementos verticais, como edifícios e árvores (Battista & Manaugh, 2019). A perceção de clausura ocorre quando as linhas de visão superior são delimitadas por objetos do ambiente construído (arcadas, pórticos) ou por objetos do ambiente natural (árvores).

A clausura do espaço é um atributo que torna as ruas mais atrativas para os peões. Em geral, considera-se que as pessoas preferem deslocar-se em ruas com algum nível de clausura, pois proporcionam uma maior sensação de bem-estar e de segurança, nomeadamente em relação a condições meteorológicas adversas (Ewing & Handy, 2009; Adkins *et al.*, 2012). Conforme relatado por Adkins *et al.* (2012), as pessoas gostam de andar em “espaços abertos, mas delimitados”.

- **Complexidade**

A complexidade refere-se à riqueza visual de um local, que é definida pela variedade de atributos do ambiente físico, nomeadamente no que respeita à forma, tamanho, materiais, cores e estilos arquitetónicos do edificado, à ornamentação da rua (mobiliário urbano, árvores, sinalização, etc.) e à atividade humana na rua. Ruas com poucas cores, edifícios e peões são pobres em complexidade, enquanto ruas com muitos edifícios diferentes, cores, ornamentação e atividades humanas são visualmente complexas.

As ruas visualmente mais complexas são globalmente mais atraentes para os peões porque oferecem mais pontos de interesse para se ver. Como os peões se movem lentamente, eles têm mais tempo e capacidade para analisar ambientes complexos do que, por exemplo, os motoristas para os quais estes elementos têm um menor interesse. No entanto, ambientes que fornecem muita informação podem criar

sobrecarga sensorial. Conforme enfatizado por Clemente *et al.* (2005), a complexidade deve ser fornecida aos peões numa dose que seja perceptível.

- **Transparência**

A transparência refere-se ao grau com que as pessoas podem ver ou perceber o que está além para além do limite da rua ou do espaço público e, mais especificamente, o grau com que as pessoas podem ver ou perceber a existência de atividade humana no interior dos edifícios (Singh, 2016). De acordo com Hamidi & Moazzeni (2019), a transparência é uma qualidade do design que torna os espaços mais atrativos para se andar a pé. Os elementos físicos que mais influenciam a transparência visual são a proporção de portas e janelas envidraçadas ao nível do rés-do-chão, a proporção de paredes cegas e a existência de usos ativos. Enquanto paredes cegas e vidros refletivos restringem a transparência visual, ruas com muitas vitrines transparentes melhoram a transparência visual e são mais atrativas para os peões, pois melhoram a sensação de segurança, aumentam a circulação de peões e o número de pontos de interesse (por exemplo, observar o interior das lojas, fazer compras).

### **2.3. Infraestruturas pedonais**

As infraestruturas pedonais visam proporcionar aos peões uma utilização confortável, conveniente e segura do espaço urbano. Os passeios são a infraestrutura pedonal formal mais relevante, mas existem outras, tais como as travessias, os percursos em coexistência, as passagens superiores e inferiores, rampas e escadas. Além destas, existem as infraestruturas informais que são utilizadas pelos peões normalmente para encurtar caminho entre dois pontos e incluem atalhos através de espaços verdes e rotundas, passagens entre edifícios, por parques de estacionamento, entre outras.

A literatura demonstra que a existência de infraestruturas pedonais devidamente dimensionadas e mantidas é um fator determinante para encorajar as pessoas a andarem a pé e para melhorar a satisfação associada às deslocações pedonais (Ferrer *et al.*, 2015; Fonseca *et al.*, 2022). No entanto, verifica-se que as características das infraestruturas pedonais têm sido pouco utilizadas em índices de *walkability* devido fundamentalmente a duas razões: à falta de dados que permitam avaliar essas condições; e à morosidade e dificuldade que o levantamento deste tipo de informação micro ao nível das infraestruturas requer.

Apesar disso, é reconhecido que as infraestruturas pedonais devem permitir que os peões efetuem percursos em segurança, com conveniência e conforto. No Reino Unido, por exemplo, as infraestruturas

pedonais devem satisfazer um conjunto de cinco características comumente designadas por 5 C: serem conectadas, confortáveis, convenientes, conviviais e conspícuas (DETR, 2000). O planeamento destas infraestruturas deve ter em consideração as necessidades dos utentes mais vulneráveis que apresentam condicionalismos de mobilidade. Estas devem ser projetadas para escoar adequadamente os volumes pedonais existentes e, no seu conjunto, devem formar um sistema contínuo, homogéneo e articulado, que permita ao peão efetuar o seu percurso sem ter de sair dos locais apropriados. Esta articulação deve estender-se também às paragens da rede de transportes públicos e aos lugares de estacionamento de veículos particulares, de forma a facilitar as deslocações a pé entre as paragens e estações e os locais de origem ou destino (IMT, 2020b).

O planeamento das infraestruturas pedonais é influenciado por diversos fatores a ter em conta (Austroads, 2017):

- Identificação das linhas de desejo seguidas pelos peões;
- Optar pelo melhor traçado possível para proporcionar uma deslocação confortável e segura, dentro dos recursos disponíveis. O custo das alternativas pode constituir um fator importante para determinar a localização do percurso;
- Localizar os serviços, comércio e equipamentos locais que possam ser de interesse para os utilizadores dos percursos;
- Garantir uma distância visual adequada ao longo do percurso para observar outros utilizadores durante a deslocação;
- Assegurar que a definição dos percursos pedonais tem em conta a segurança pessoal dos seus utilizadores, particularmente em zonas relativamente isoladas;
- Facultar o acesso aos veículos de emergência e aos veículos de manutenção nas entradas dos percursos ou noutros pontos estratégicos;
- Promover a manutenção da envolvente, incluindo a remoção da vegetação excedente, e assegurar a manutenção e o estado de conservação das infraestruturas pedonais;
- Sempre que possível escolher locais esteticamente agradáveis, para incentivar a utilização do modo pedonal.

No projeto da infraestrutura pedonal deve ter-se em conta que os peões apresentam características heterogéneas e têm diferentes níveis de vulnerabilidade, pelo que é conveniente adotar um desenho

urbano universal e inclusivo, que permita satisfazer eficazmente as necessidades de mobilidade para todos<sup>1</sup> (IMTT, 2011a).

Os aspetos mais importantes a considerar, quando se concebem as infraestruturas pedonais, dizem respeito às características dos passeios e dos atravessamentos das faixas de rodagem (IMTT, 2011b). No entanto, como o foco desta dissertação é o estudo dos passeios, nas subsecções seguintes analisam-se os critérios mais relevantes a ter em conta na avaliação das condições que os passeios oferecem aos peões.

## **2.4. Os passeios como infraestrutura essencial para o modo pedonal**

### 2.4.1. Introdução

Os passeios são a parte da via pública, normalmente sobrelevada, que ladeia a faixa de rodagem e se destina à circulação de peões. Os passeios estão normalmente pavimentados com materiais resistentes e podem existir de ambos os lados da rua ou só de um deles. O passeio ideal é aquele que garanta o andar a pé livre, seguro e confortável de todos os cidadãos (CREA-BA, 2010).

Os passeios têm um papel vital nas cidades e zonas habitacionais, até porque as deslocações iniciam e terminam sempre com uma componente pedonal. De acordo com Sousa (2013), em Portugal e um pouco por todo o Mundo, as zonas pedonais são construídas com pouco critério, utilizando muitas vezes materiais de sobra ou pouco adequados, criando problemas tanto a nível funcional como estrutural. No entanto, de acordo com a TRL (2003), as autoridades gastam uma quantidade significativa do seu orçamento para manutenção de zonas pedonais para garantir que os peões, mesmo aqueles com mobilidade reduzida, possam circular em conforto. De forma a equilibrar a malha de transportes urbana, é preciso realizar um maior investimento na qualidade e no planeamento das infraestruturas pedonais.

Relativamente às infraestruturas pedonais, além do terreno onde este será construído, para um adequado dimensionamento de um passeio é necessário considerar qual o tráfego pedonal e motorizado que este terá de suportar. Uma das principais causas inerentes a um precoce fracasso estrutural é suportar cargas para as quais a estrutura não foi dimensionada (MPA, 2009).

---

<sup>1</sup> Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto

De uma forma geral, as condições ideais que os passeios devem ter são as seguintes:

- Serem contínuos e acessíveis a todos os peões;
- Terem manutenção adequada e frequente;
- Cumprirem os requisitos necessários, nomeadamente em termos de largura e de declives laterais e, se possível, longitudinais;
- Incluírem rampas de acesso para peões que se deslocam de cadeira de rodas e com mobilidade reduzida;
- Estarem livres de obstáculos (por exemplo, postes de iluminação, paragens de transportes públicos, automóveis estacionados, etc.) que sejam suscetíveis de reduzir a sua largura útil e causar colisões;
- Terem superfícies regulares e com materiais aderentes que permitam aos peões circular em segurança e com conforto;
- Terem uma adequada iluminação pública, que é importante para a segurança nas deslocações à noite.

No entanto, verifica-se que alguns dos problemas principais que surgem nos passeios são os seguintes:

- Não estarem disponíveis em ambos os lados da rua;
- Larguras insuficientes relativamente às desejadas para uma circulação fluida dos peões;
- A falta de condições para pessoas com mobilidade reduzida (largura insuficiente para utilizadores de cadeiras de rodas e falta de rampas nos passeios);
- Existência de diversos obstáculos temporários e permanentes nos passeios;
- Mau estado de conservação e falta de manutenção dos passeios;
- Passeios sem iluminação ou com iluminação pública inadequada.

#### 2.4.2. Características gerais dos passeios

Nos passeios é possível distinguir zonas com diferentes ocupações e usos. Assim, entre o limite da faixa de rodagem e a linha do edificado distinguem-se três zonas: a zona do mobiliário urbano, a zona de passagem, ou seja, de circulação efetiva dos peões e a zona de restauração frontal aos edifícios. Na Tabela 1, detalham-se as ocupações normalmente admitidas em cada uma destas zonas (NZTA, 2009). Nas Figuras 1 e 2, que se encontram abaixo, são apresentados exemplos de diferenciação das zonas dos passeios.

Tabela 1 – Diferenciação das zonas dos passeios (NZTA, 2009)

Zona	Objetivo
Zona de mobiliário urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocação de elementos como postes de sinalização, postes de iluminação, tampas de esgotos, parquímetros, etc.</li> <li>• Plantação de pequenas áreas verdes.</li> <li>• Criação de um efeito psicológico de proteção entre peões e veículos motorizados.</li> <li>• Absorção dos salpicos devido à projeção hidráulica provocada pela passagem de veículos.</li> <li>• Acomodação dos desníveis de acessos rodoviários às propriedades marginais.</li> <li>• No caso de bancos, permite o descanso de peões.</li> </ul>
Zona de restauração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecimento e consumo de refeições.</li> </ul>
Zona de passagem (ou largura efetiva)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área normalmente escolhida pelos peões para andarem a pé (esta deve ser mantida livre de obstruções).</li> <li>• Auxílio à orientação de pessoas com deficiência visual, disponibilizada pelas linhas dos edifícios, em especial em zonas comerciais.</li> </ul>

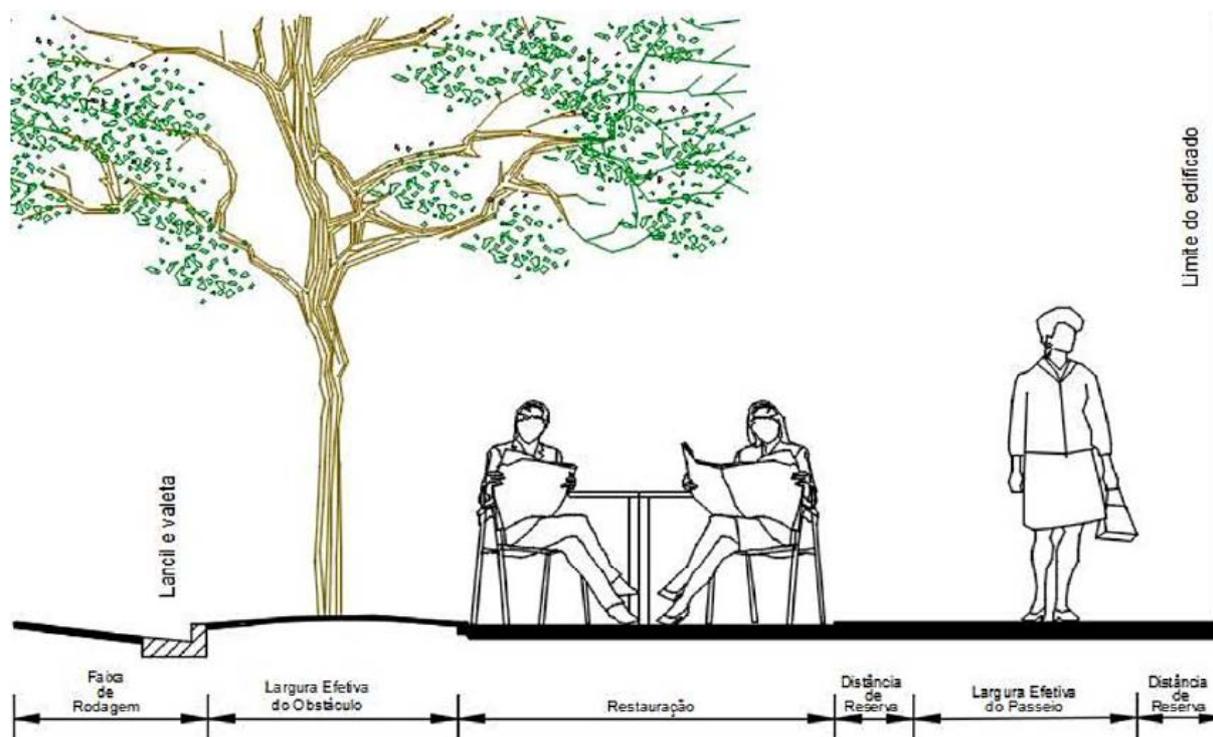


Figura 1 – Exemplo de diferenciação das zonas dos passeios (IMT, 2020b)

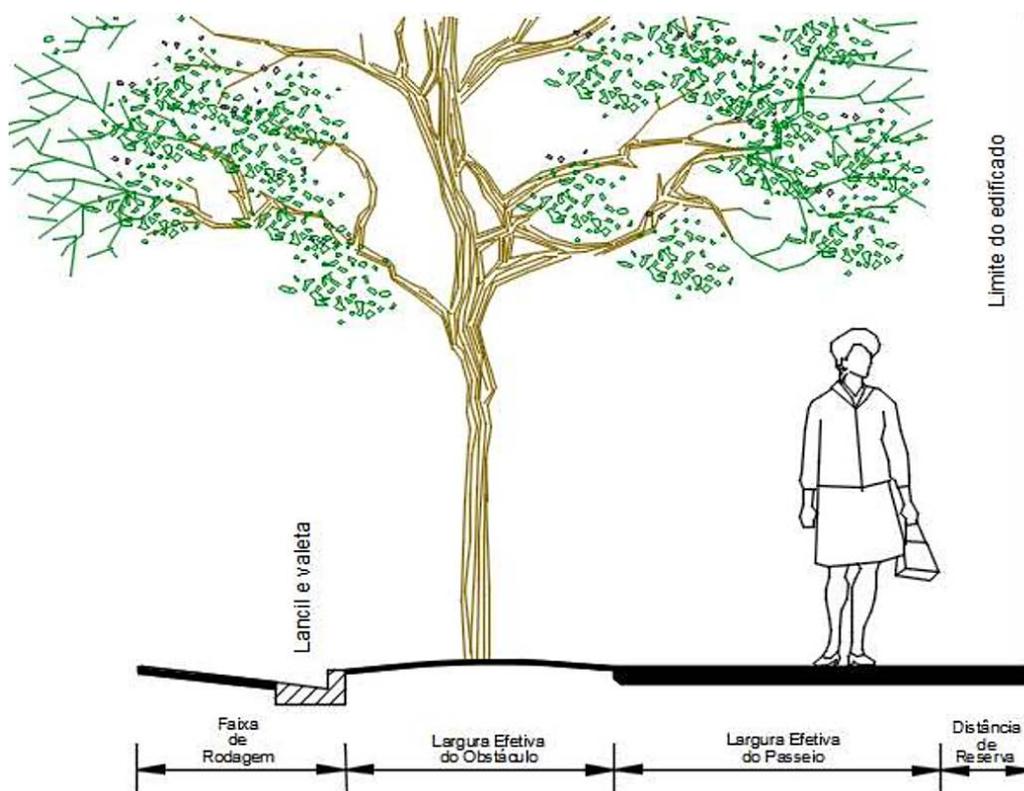


Figura 2 – Exemplo de diferenciação das duas zonas dos passeios mais usuais (IMT, 2020b)

Dada a potencial necessidade para acomodar diversas utilizações nos passeios, o dimensionamento destes deve prever o espaço necessário para vários tipos de atividade e fluxos pedonais, tendo em atenção o impacto que certas decisões, como a colocação de mobiliário, podem ter na capacidade de circulação de peões (Austroads, 2017).

As características dos passeios dependem também da respetiva hierarquia viária. De acordo com Seco *et al.* (2008b) essas características são as seguintes:

- Nos arruamentos de Nível I (com função coletora/arterial) é normalmente indesejável a existência de passeios ladeando os arruamentos, já que tal tenderá a induzir a existência de situações de cruzamento pedonal de nível, criando problemas potencialmente graves de insegurança rodoviária.
- Nos arruamentos de Nível II (vias distribuidoras principais) é admissível a existência de passeios adjacentes a estas vias, devendo, no entanto, ter-se a preocupação de apenas permitir os atravessamentos pedonais em locais específicos para o efeito.
- Nos arruamentos de Nível III (vias distribuidoras locais) devem ser sempre instalados passeios laterais, apesar do conflito com veículos motorizados representar um sério risco para a segurança dos peões.

- Nos arruamentos de Nível IV (vias de acesso local) justificam-se passeios laterais, sendo que as soluções do tipo “via partilhada” poderão ser adotadas em zonas de coexistência.

Na Figura 3 apresenta-se uma visualização do que pode ser a aplicação integrada dos conceitos atrás apresentados para cada tipo de via de um território.

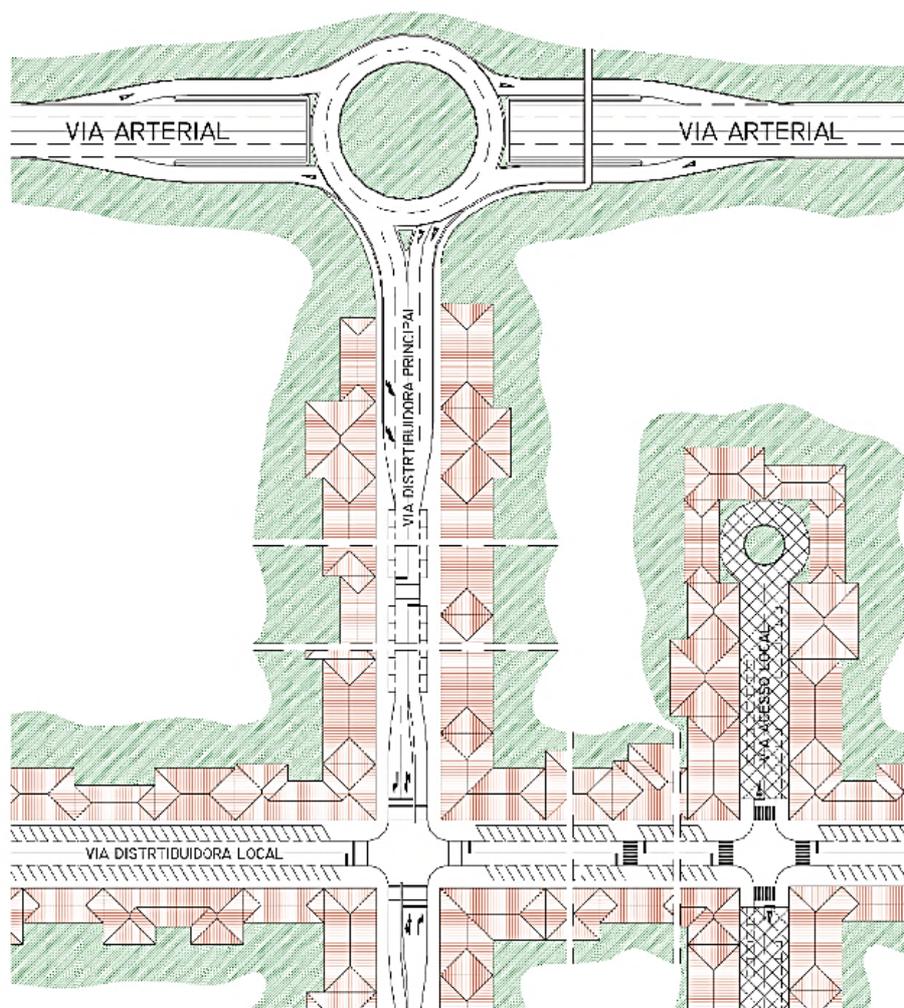


Figura 3 – Esquema representativo da estrutura hierárquica de uma rede viária (Seco *et al.*, 2008b)

As ruas ou zonas exclusivamente pedonais são geralmente caracterizadas por uma maior disponibilidade de espaço, pelo que, ao contrário do que se pretende nos passeios, as preocupações de capacidade não são relevantes (Seco *et al.*, 2008a). Algumas zonas pedonais não são exclusivas deste modo de transporte, sendo permitida a utilização por veículos motorizados em horários específicos (por exemplo, só à noite) ou em dias específicos (por exemplo, só em dias úteis). Do mesmo modo, estes espaços poderão permitir a circulação de bicicletas e de trotinetes. As zonas de partilha permanente do espaço por peões e veículos com e sem motor são designadas por zonas de coexistência (IMT, 2020b).

Nesse sentido, é essencial que os passeios estejam adaptados às necessidades, considerando o fluxo de peões previsto e o facto dos mesmos se destinarem apenas à circulação de peões ou à coexistência com outros modos (Oliver-Solà *et al.*, 2009; FHWA, 2013). Desta forma será possível evitar o sobredimensionamento ou o subdimensionamento dos passeios e os respetivos custos desnecessários (Oliver-Solà *et al.*, 2009).

As normas técnicas de acessibilidade em vigor no nosso país aplicam-se também a passeios e outros percursos pedonais pavimentados, para além das várias situações que estão descritas no artigo 2º do Decreto-Lei nº 163/2006, de 8 de agosto. De acordo com o anexo técnico do referido Decreto-Lei, as áreas urbanizadas devem ser servidas por uma rede de percursos pedonais acessíveis, que proporcionem acesso seguro e confortável das pessoas com mobilidade condicionada a todos os pontos relevantes da sua estrutura ativa, nomeadamente lotes construídos, equipamentos coletivos, espaços públicos de recreio e lazer, espaços de estacionamento de viaturas, locais de paragem temporária de viaturas para entrada/saída de passageiros e paragens de transportes públicos, formando assim uma rede contínua e coerente devidamente articulada com as atividades e funções urbanas (IMT, 2020b).

#### 2.4.3. Largura dos passeios

Na conceção de qualquer espaço pedonal há que adequar a área disponível às suas diferentes utilizações, sejam elas de circulação ou espera, mas também de usufruto, tais como a visualização de montras ou conversas em grupo (Seco *et al.*, 2008a).

Por regra, os percursos pedonais devem ter em todo o seu desenvolvimento um canal de circulação contínuo desimpedido de quaisquer obstáculos, tais como mobiliário urbano, elementos arbóreos, paragens de autocarro, entre outros, que são suscetíveis de reduzir a largura efetiva do passeio. A largura total do passeio compreende a largura entre as fachadas dos edifícios ou muros e a faixa de rodagem, sendo que em arruamentos urbanos com atividade comercial, as fachadas e montras, também contribuem para a redução da largura efetiva do passeio, conforme se ilustra no exemplo da Figura 4 (IMT, 2020b).

Nos passeios, a presença de diversos obstáculos, tais como mobiliário urbano e vegetação, impede a utilização pelos peões de todo o espaço disponível. Também os limites do passeio junto à faixa de rodagem e às fachadas dos edifícios constituem obstáculos, pelo que os peões normalmente tendem a evitar circular muito próximo deles (IMT, 2020a).

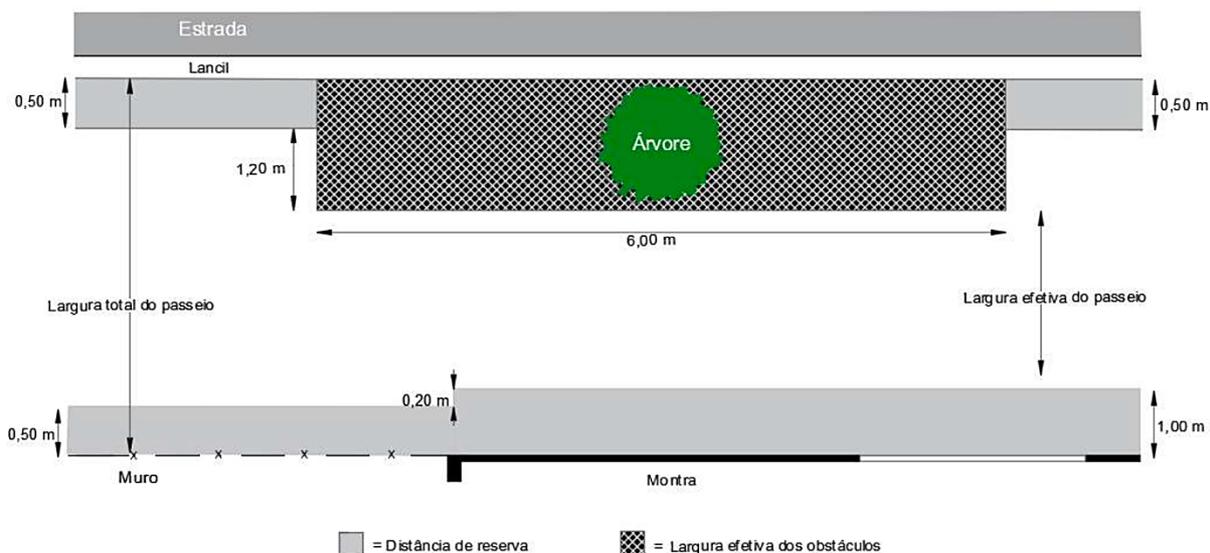


Figura 4 – Exemplo de distâncias de largura efetivas e de reserva de obstáculos (adaptado de TRB, 2010, citado em IMT, 2020b)

Assim, justifica-se a necessidade do conceito de largura útil de um passeio. Esta largura corresponde ao espaço efetivamente disponível para a deslocação e realização de atividades dos peões, ao qual acrescem as larguras perdidas, para se poder calcular a largura bruta, correspondente à largura total do passeio (TRB, 2010; IMTT, 2011b).

A frequência com que os obstáculos estão presentes no passeio influencia a largura útil deste. A presença de um obstáculo isolado, por exemplo, um quiosque, tem uma influência localizada, não afetando significativamente o funcionamento global de um passeio. Pelo contrário, um obstáculo contínuo ou que se repita de forma periódica, como por exemplo, muros, árvores ou candeeiros, afeta globalmente o seu funcionamento (IMT, 2020a).

De acordo com o Decreto-Lei nº 163/2006, de 8 de agosto, a definição da largura dos passeios passou a ser efetuada em termos de largura livre. Assim, os passeios que se encontrem adjacentes a vias principais e vias distribuidoras devem ter uma largura efetiva (também designada por largura livre de obstáculos) não inferior a 1,5 m. No entanto, os pequenos acessos pedonais no interior de áreas plantadas, cujo comprimento total não seja superior a 7 m, podem ter uma largura efetiva não inferior a 0,9 m. Além disso, também devem cumprir regras no âmbito do dimensionamento de espaços ou infraestruturas viárias e equipamentos de utilização coletiva.

A presença de certos elementos que possam reduzir a largura efetiva dos passeios determina que as ruas devam ter larguras desejáveis e aceitáveis diferentes. Num estudo da CCDR (2008) são propostas

larguras diferentes em função da presença de mobiliário urbano, árvores e montras (Tabela 2). Num outro estudo da Câmara Municipal de Lisboa (CML, 2018), é recomendado que a largura efetiva dos passeios seja de 1,8 m para permitir o cruzamento de duas cadeiras de rodas (IMT, 2020b).

Tabela 2 – Largura mínima de passeios em função do tipo de obstáculo (Seco *et al.*, 2008a)

<b>Tipo de passeio</b>	<b>Largura desejável (m)</b>	<b>Largura aceitável (m)</b>
Passeio sem mobiliário urbano, árvores ou montras	2,0	1,5
Passeio com fila de árvores ou de montras	3,0	2,5
Passeio com árvores e montras	4,0	3,5

Além dos obstáculos que podem reduzir a largura efetiva dos passeios, existem ainda os obstáculos verticais, tais como toldos, placas de sinalética, vegetação, etc. Estes obstáculos são particularmente perigosos para peões com limitações visuais, que têm maior dificuldade em detetá-los. A altura livre de obstruções em toda a largura dos percursos não deve ser inferior a 2,4 metros nos espaços públicos (IMT, 2020b).

#### 2.4.4. Inclinação ou declive dos passeios

O declive dos passeios compreende a inclinação longitudinal das ruas e a inclinação lateral ou transversal do passeio. O declive longitudinal está associado às condições topográficas do terreno e, logo, cidades mais planas tendem a ter passeios com menos declives, enquanto cidades com topografia mais acidentada, tendem a ter passeios com maior declive.

O declive longitudinal dos passeios é um fator importante para o modo pedonal, pois superfícies ascendentes inclinadas influenciam a velocidade e aumentam a energia e o esforço necessário para andar (Lundberg & Weber, 2014). Se um trajeto tiver degraus ou declives ascendentes significativos, os peões tendem a evitá-lo. No entanto, uma ligeira inclinação descendente poderá ser benéfica, pois envolve menos esforço físico para andar (Koh & Wong, 2013).

De uma forma geral, considera-se que a inclinação longitudinal dos passeios deve ser inferior a 5%. Passeios com declives superiores são considerados rampas, os quais devem cumprir os requisitos estipulados para as mesmas de acordo com o Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto (IMT, 2020b).

Declives superiores a 5% são pouco atrativos para os peões e podem até constituir uma barreira para os utilizadores de cadeiras de rodas e para os peões com mobilidade reduzida.

O declive lateral dos passeios é normalmente utilizado para facilitar a escorrência ou drenagem das águas pluviais. As normas nacionais (Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto) recomendam que este declive deve ser inferior a 2%. Declives laterais superiores obrigam a um maior esforço para o equilíbrio lateral, nomeadamente para pessoas com mobilidade reduzida e que usam dispositivos de apoio, como cadeiras de rodas.

O declive longitudinal tem sido incluído em diversos índices de *walkability* (Guo & Loo, 2013; Kasemsuppakorn & Karimi, 2013; Lundberg & Weber, 2014). Porém, o declive lateral tem sido um atributo bastante menos estudado.

#### 2.4.5. Obstáculos nos passeios

Um obstáculo é todo o elemento físico permanente ou temporário colocado sobre os passeios ou outras infraestruturas pedonais que impede ou condiciona a circulação dos peões.

Os obstáculos normalmente considerados incluem os postes de iluminação pública, a sinalização vertical, luminosa e informativa, as árvores, as caldeiras e as floreiras sobrelevadas, o mobiliário e equipamento urbano, e todos os outros elementos que possam bloquear ou prejudicar a circulação das pessoas, sendo recomendada a sua colocação numa única faixa para implantação de infraestruturas fora da área de circulação dos peões (CML, 2018). A invasão dos passeios por veículos estacionados deve ser alvo de medidas de ordenamento do estacionamento e de fiscalização uma vez que constituem um obstáculo para todos os peões, em especial para os que tem mobilidade condicionada. O projeto de espaço público urbano deve prever também a introdução de barreiras físicas sustentáveis (por exemplo, arbóreas) como elementos dissuasores desse tipo de comportamentos por parte dos condutores (IMT, 2020b).

Embora a eliminação de barreiras arquitetónicas e outras à circulação pedonal tenha sido objeto de Planos de Acessibilidade Pedonal em várias cidades do país, a acessibilidade universal no espaço público de circulação ainda não foi concretizada na maioria das cidades (IMT, 2020b). Por exemplo, a cidade de Lisboa dispõe de um desses planos, o Plano de Acessibilidade Pedonal de Lisboa.

O Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto, considera as escadas como sendo também um obstáculo, pois impedem em especial a circulação de pessoas com mobilidade reduzida.

#### 2.4.6. Condição e estado de conservação dos passeios (deformações, limpeza)

A falta de uma adequada manutenção dos passeios ao longo do tempo que permita, por exemplo, repor as condições de regularidade após danos causados por choques, obras ou fenómenos atmosféricos é um fator que contribui para degradar as condições oferecidas aos peões, nomeadamente em termos de conforto e segurança. Ou seja, uma manutenção regular melhora a condição e estado de conservação dos passeios (Di Mascio *et al.*, 2020).

Sabendo que a condição do pavimento influencia no número de acidentes, ou seja, afeta a segurança dos peões, é importante identificar os defeitos ou degradações e as suas possíveis formas de manutenção (Pinatt *et al.*, 2020). São várias as deformações que põem em causa a condição e o estado de conservação dos passeios como, por exemplo, as deformações provocadas pelas raízes das árvores, os buracos, fendilhamento e os remendos que podem criar desníveis no pavimento do passeio.

Nos passeios deverão garantir-se níveis mínimos de qualidade de circulação em termos de velocidade de circulação e conforto, de acordo com o volume de circulação de peões (Seco *et al.*, 2008a).

#### 2.4.7. Ambiente natural (presença de árvores e vegetação)

O ambiente natural também é um fator importante, que influencia o modo pedonal (Lundberg & Weber, 2014; Panagopoulos *et al.*, 2016). Condições confortáveis ao nível da temperatura, sombreamento e presença de vegetação são importantes para os peões (Koh & Wong, 2013).

Por exemplo, a presença de árvores nos passeios não apenas direciona o fluxo de peões em ruas largas, melhorando a perceção dos mesmos quanto à privacidade e segurança em relação ao tráfego automóvel, como também quanto ao ambiente urbano. A vegetação urbana beneficia claramente o clima e o ambiente urbano. Os principais benefícios incluem a melhoria do conforto térmico e da qualidade do ar, a redução do ruído e da velocidade do vento (Ng *et al.*, 2012; Capri *et al.*, 2016; Panagopoulos *et al.*, 2016). Os espaços verdes também têm um efeito positivo ao nível da estética e da paisagem urbana, o que influencia a experiência dos peões (Vojnovic *et al.*, 2006).

Na verdade, a vegetação ao longo das ruas cria ambientes mais atrativos para se andar a pé, tendo um impacto positivo nas condições microclimáticas e estéticas ao nível dos passeios (Lwin & Murayama, 2011; Adkins *et al.*, 2012; Capri *et al.*, 2016).

#### 2.4.8. Iluminação pública

As condições de iluminação das ruas à noite têm influência ao nível da prevenção de acidentes nas passeadeiras, de quedas nos passeios, bem como ao nível da percepção de segurança pública (Arellana *et al.*, 2020).

A escuridão gera uma sensação de insegurança nos peões por causa da diminuição da visibilidade. Kaplan & Chalfin (2022) referem que uma adequada iluminação melhora a percepção de segurança dos peões e tende a encorajá-los a andar a pé.

#### 2.4.9. Mobiliário urbano de apoio aos peões

Na rede de percursos pedonais devem ser incluídos não só espaços de circulação, mas também pontos de descanso e zonas para usufruto do espaço público, incluindo áreas de lazer, como pequenos espaços ajardinados, praças ou outras zonas similares favoráveis à sociabilização e permanência no espaço exterior (IMT, 2020b).

Para o efeito deve ser disponibilizado mobiliário urbano de apoio e descanso para os peões, como por exemplo bancos, bebedouros e fontes, sombreamento, papeleiras e sinalética, entre outros. Estes elementos urbanos desempenham um papel importante na definição do espaço público na medida em que contribuem para a criação de espaços acessíveis, seguros e legíveis, onde os peões possam permanecer (CMG, 2018).

Tanto o tipo como a localização do mobiliário urbano devem obedecer a um planeamento cuidado. Assim, devem ser utilizados materiais de qualidade, optando por aqueles de maior durabilidade e de fácil manutenção, uma vez que estão sujeitos às condições atmosféricas e ao uso intenso, devendo ter grande resistência à aplicação de cargas e à fadiga, salvaguardando formas e revestimentos que conservem a parte estética. Também devem ser observados fatores ergonómicos e de segurança que proporcionem o bem-estar dos utentes (IMT, 2020b).

Os vários elementos de mobiliário urbano, sem prejuízo do aspeto visual das vias e da sua funcionalidade, devem ser colocados no espaço público de forma a não criarem obstáculos à normal circulação pedonal (ANSR, 2019a).

Os passeios e, em especial, os pontos de permanência de peões, devem ser visíveis a qualquer hora e, portanto, essencialmente por razões de segurança, deve dar-se especial importância à iluminação, pelo

que a aplicação de candeeiros de iluminação pública é absolutamente necessária em praças e outros espaços similares (ANSR, 2019b).

Nas áreas em que se incluam os pontos de descanso, bem como nos espaços de circulação, a drenagem das águas pluviais deve ser assegurada, através de disposições técnicas e construtivas que garantam o rápido escoamento e secagem dos pavimentos (Decreto-Lei nº 163/2006, de 8 de agosto).

A disposição dos elementos de mobiliário urbano nos pontos de descanso deve ter em atenção as pessoas com mobilidade condicionada (IMT, 2020b).

Quanto à sinalética presente nos passeios, esta deve ser a estritamente necessária, de maneira a não causar obstrução aos peões. Para além do mais, o excesso de sinalização apenas acarreta mais custos de manutenção, sendo ainda uma fonte de obstrução visual. Os sinais de regulação são usados para informar e orientar o condutor ou o peão. Estes devem ser colocados a uma distância que permita um tempo de resposta adequada à informação dada pelo sinal (ITE, 1998).

## **2.5. Influência dos pavimentos no conforto e segurança do modo pedonal**

A rede pedonal em meio urbano é constituída por vários tipos de passeios e estes, por sua vez, poderão ser compostos por um vasto leque de materiais e soluções construtivas (Oliver-Solà *et al.*, 2009). Independentemente do tipo de solução escolhida, os passeios devem apresentar uma superfície regular, contínua, firme e antiderrapante em qualquer condição atmosférica, e devem ser executados sem mudanças abruptas de nível ou inclinações que dificultem a circulação de peões (PSP, 2013). Isso é importante para melhorar o conforto dos peões e para prevenir o risco de quedas e de lesões subsequentes, principalmente entre a população mais envelhecida (Thies *et al.*, 2005).

Os elementos do pavimento das infraestruturas pedonais devem ser atrativos, resistentes e confortáveis para os utilizadores e duráveis e sustentáveis do ponto de vista ambiental (Rehan, 2013).

Os passeios urbanos foram reconhecidos ao longo da história como obras de engenharia que representavam a síntese de valores funcionais e estéticos mais complexos, capazes de atender às necessidades e à procura de transporte (Garilli & Giuliani, 2019; Biancardo *et al.*, 2020). As suas funções essenciais de decoração, higiene e estética foram especificamente concebidas para oferecer às pessoas um espaço público melhorado para a circulação e acesso de modo a facilitar uma variedade de usos e de atividades (Garilli *et al.*, 2017; Mohora & Anghel, 2019). O design moderno dos pavimentos da rua contínua é fruto de exigências funcionais e estéticas para apoiar as necessidades das pessoas, a atividade

económica, o ambiente urbano e o património cultural das cidades (NACTO, 2016). Porém, ao nível da pavimentação, alguns desses aspetos significativos muitas vezes não são devidamente considerados, pelo que por vezes os pavimentos dos passeios não se distinguem dos pavimentos das faixas de rodagem (Autelitano *et al.*, 2020; Garilli *et al.*, 2020; Gong *et al.*, 2020). A variedade de materiais utilizados, que não são adotados apenas para tarefas estruturais, exige uma análise específica da adaptação das superfícies para os peões assim como para os utilizadores de cadeiras de rodas, carrinhos de bebé, entre outros (De Winne, 2006; Gao *et al.*, 2019; Autelitano *et al.*, 2020).

A qualidade de um espaço prioritário para peões (ruas exclusivas para peões, passeios, áreas compartilhadas e praças) deve, portanto, cumprir uma série de indicadores específicos que equilibram os requisitos estéticos com os de conforto e segurança durante um percurso, que pode ser caracterizado por transições em diferentes níveis (Tanzil & Gamal, 2021). Este conceito é mais importante nos centros históricos das cidades, onde a pedra natural é a escolha mais comum para pavimentos de ruas projetadas para o tráfego de veículos e utilizadores vulneráveis, incluindo espaços prioritários para peões (Colagrande, 2008; Zoccali *et al.*, 2017; Garilli & Giuliani, 2019).

A troca do material de pavimentação, especialmente para pavimentos táteis, tem sido feita para melhorar a orientação na cidade de pessoas com deficiência visual, bem como para ajudar na identificação de espaços viários urbanos com usos específicos. Além disso, esta abordagem traduz-se em diversos desempenhos técnicos no que diz respeito à aderência, irregularidades verticais mais ou menos significativas, geração de ruído ou vibrações e conforto em função da idade das pessoas, estilos de andar a pé, tipo de movimento e calçado. Além do mais, os peões podem ter características muito diferentes, tanto do ponto de vista físico, como ao nível dos dispositivos usados para se deslocarem num ambiente urbano inclusivo (por exemplo, cadeiras de rodas, dispositivos de apoio, como muletas e canadianas) e dos objetos transportados, como sacos, *trolleys* ou carrinhos de bebé (Pecchini & Giuliani, 2015).

As análises desagregadas dos vários fatores que afetam a qualidade de um percurso principalmente destinado a peões têm sido objeto de investigação de vários autores (Gomes & Savionek, 2014; Cepolina *et al.*, 2017). No entanto, uma leitura geral das relações entre os vários indicadores funcionais, ainda não foi totalmente alcançada. Em grande parte, isso resulta do facto das metodologias aplicadas terem sido desenvolvidas para a manutenção de pavimentos para veículos (estradas) e não para peões (passeios). As características da superfície do pavimento que mais afetam a segurança e conforto dos utilizadores são a sua irregularidade, textura, atrito, conforto térmico e albedo ou refletância solar.

O material do pavimento é importante para a função e estética da rua, na estrada e nos passeios (Zegeer *et al.*, 2002). Contudo, a solução escolhida terá de ser pensada de acordo com o tipo de utilização a que será sujeita e o local em que será implementada.

As principais características (ou seja, aderência e conforto) dos materiais de revestimento ou pavimentação usualmente empregues em percursos pedonais urbanos são indicadas na Tabela 3. A avaliação da aderência da superfície de um pavimento é realizada através de ensaios normalizados de aderência, sob condições de superfície seca ou molhada, havendo também equipamentos para avaliar a sua microtextura, quer pontualmente, quer em contínuo (IMT, 2020b).

Tabela 3 – Aderência e conforto dos materiais para percursos pedonais (adaptado de CEREMA, 2019)

<b>Material do revestimento</b>	<b>Aderência</b>	<b>Conforto para a circulação a pé</b>
Argamassa de cimento	Boa	Fraco
Betão betuminoso	Boa	Médio
Betão de cimento	Boa	Bom
Lajetas de betão	Boa	Médio
Cubos de pedra	Média	Fraco
Gravilha ou solo estabilizado	Média	Fraco a médio
Complexo à base de resinas	Boa	Bom
Madeira	Fraca	Fraco

Mais ou menos rapidamente, os materiais de revestimento alteram as suas propriedades com a sua utilização continuada (por exemplo, a rugosidade), o que faz diminuir a aderência e pode comprometer a segurança das deslocações a pé. Assim, recomenda-se que sejam exigidos requisitos de aderência para o tipo de utilização do pavimento de acordo com a certificação dos materiais (IMT, 2020b).

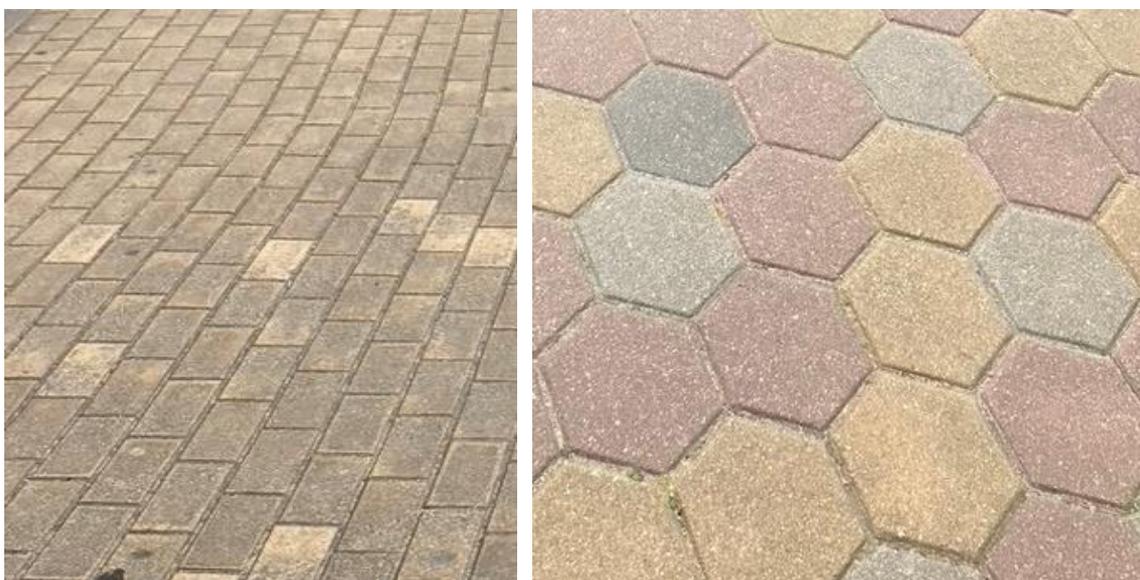
## **2.6. Tipos de pavimentos dos passeios**

### **2.6.1. Introdução**

Existe uma grande diversidade de materiais e de tipos de pavimentos para os passeios que apresentam parâmetros distintos em termos de atrito, permeabilidade, conforto, modo de colocação, resistência ao desgaste, resistência mecânica, entre outros. De seguida descrevem-se alguns dos materiais mais utilizados na pavimentação de passeios, com ênfase especial nos estudados neste trabalho.

### 2.6.2. Blocos de betão

Os passeios em blocos de betão são uma solução construtiva que resulta em um pavimento resistente a diversas solicitações e com um baixo nível de desgaste. Este tipo de blocos pré-fabricados são compostos por peças de betão alinhados, como se mostra na Figura 5a, com juntas abertas de modo a permitir alguma infiltração da água. Os blocos são moldados para deixar espaços abertos nas juntas, sendo que estas aberturas são preenchidas com um agregado permeável, que normalmente é areia. Estes blocos formam um pavimento “segmentado” que permite alguma infiltração da água e facilita a circulação dos peões (Smith, 2006).



(a)

(b)

Figura 5 – Pavimento em blocos de betão: (a) em formato retangular no largo Monte de Arcos, em Braga; (b) em formato hexagonal na rua Nova de Santa Cruz, em Braga

Os blocos de betão têm várias vantagens, tais como elevada resistência mecânica, índice de escorregamento reduzido, facilidade e rapidez na aplicação, entre outras. Estes pavimentos podem ser rígidos ou flexíveis consoante a constituição da sua base, de argamassa ou areia (Pimenta, 2008) e devem ser colocados de forma que os blocos fiquem livres de tensão, mas também não corram o risco de se soltarem. Habitualmente são limitados nas extremidades por guias de betão ou pedra.

As características funcionais dependem do tratamento superficial aplicado, sendo que existem tratamentos adaptados ao tráfego rodoviário e ao pedonal. Este pavimento apresenta um adequado atrito para circulação, evitando assim escorregadelas dos peões em tempo de chuva, tornando-se confortável para o uso pedonal (Ferreira, 2007).

Os blocos de betão em formato hexagonal (Figura 5b) têm um design atrativo e a sua variedade de cores permite a execução de projetos com uma variedade de combinações modernas, compatíveis com as novas ideias e conceções urbanísticas. Este pavimento produz excelentes resultados estéticos em zonas amplas devido à sua geometria e é extremamente funcional em zonas de acesso pedonal ou mesmo quando são aplicadas cargas rolantes (Artebel, 2023).

### 2.6.3. Blocos ou cubos de pedra

Os pavimentos em blocos ou cubos de pedra (Figura 6) são estruturalmente flexíveis ou rígidos consoante a base, estando os cubos de pedra natural assentes numa almofada de areia regularizadora sobre camada de base granular ou de argamassa hidráulica. Nos cubos de pedra natural pode ser utilizada uma grande variedade de rochas (granito, basalto, calcário, entre outros). Estes pavimentos têm uma boa resistência estrutural e uma boa durabilidade (Ferreira, 2007).



Figura 6 – Pavimento em blocos de pedra na praça da Galiza, em Braga

Por vezes, a má instalação destes pavimentos pode fazer com que fiquem com uma superfície irregular, tornando a deslocação dos peões mais desconfortável, além de se tratar de um pavimento descontínuo com uma elevada quantidade de juntas. É possível aumentar a impermeabilidade destes pavimentos, nomeadamente quando é colocado cimento nas juntas, o que também diminui o risco de arrancamento de pedras.

A calçada à Portuguesa também é um pavimento calcetado de pedra natural, sobretudo calcário, de formato diverso e pequena dimensão, assente no solo de forma irregular ou regular, de modo a formar

composições decorativas, oscilando no contraste cromático do material, predominantemente preto e branco, mas podendo também utilizar outras cores, ou que, sendo monocromática, seja aplicada de modo a formar desenhos. A calçada à Portuguesa é tradicionalmente calcária, embora se verifiquem adaptações dos materiais utilizados associados à disponibilidade local, com destaque para o basalto nos Açores, o granito no norte e interior ou o mármore em algumas localidades do Alentejo (Menezes & Santos Silva, 2019). A calçada à Portuguesa é um pavimento geralmente constituído por blocos retangulares de pedra cortados à mão, assentes e dispostos no passeio de forma mais ou menos homogênea, como se pode observar no exemplo da Figura 7.



Figura 7 – Pavimento em calçada à Portuguesa na rua Conselheiro Januário, em Braga

Contudo, este pavimento pode ser escorregadio, principalmente em passeios inclinados e com o piso molhado. Segundo Hegger *et al.* (2006), o calcário tem uma fraca resistência a químicos, e a resistência ao desgaste é muito variável dependendo da rocha de origem. A perda de aderência provocada pelo desgaste e utilização intensiva em pedras de calcário é notória, tornando-se num pavimento polido, que se torna escorregadio e perigoso (Pimenta, 2008). Além disso, a rocha branca tem uma elevada refletância solar (albedo), o que pode provocar encandeamento dos peões em dias de sol, embora seja favorável para criar um maior conforto térmico. A manutenção inadequada provoca a degradação exponencial uma vez que quando uma peça se solta, as adjacentes ficam vulneráveis.

#### 2.6.4. Lajes de pedra natural

Os pavimentos em lajes de pedra natural (Figura 8) são constituídos por elementos estruturalmente rígidos. As lajes de pedra natural podem ter várias origens, como o granito, mármore, entre outros.



Figura 8 – Pavimento em lajes de pedra natural na rua Gabriel Pereira de Castro, em Braga

Dependendo do tipo de pedra, da instalação e do tratamento superficial, este pavimento apresenta um bom nível de conforto. Além disso, o facto de ter um reduzido número de juntas com um tratamento superficial regularizador das lajes, faz com que seja um pavimento confortável para o tráfego pedonal. Quanto à resistência, varia com o tipo de rocha escolhido, espessura dos elementos, tipo de base e condições atmosféricas predominantes (Ferreira, 2007).

Contudo, por deficiente instalação, muitas vezes as lajes de pedra natural podem apresentar desníveis, o que pode pôr em causa o conforto e a segurança dos peões que circulam nestes passeios.

#### 2.6.5. Gravelha ou solo estabilizado

O pavimento em gravelha ou saibro (Figura 9) é contínuo, desagregado e flexível, constituído por uma mistura de inertes e agregados não ligados (brita e areia), sobre uma base granular compactada. Este material deve ser compactado (estabilizado mecanicamente) para aumentar a resistência do pavimento

à desagregação. Como o pavimento é composto por material não ligado, a superfície do revestimento provoca resistência à circulação, originando um pavimento de conforto médio para a circulação pedonal. Quanto à resistência estrutural, este pavimento tem pouca resistência a forças verticais e horizontais, devido à inexistência de ligante na mistura. No que se refere às condições atmosféricas, é bastante resistente ao efeito da temperatura, mas apresenta uma durabilidade média em situações de chuva persistente por ser composto por material não ligado (Ferreira, 2007).



Figura 9 – Pavimento em gravilha (Google, 2023)

Por vezes utiliza-se um estabilizante do material granular para aumentar a sua resistência mecânica e durabilidade, ou regas superficiais para reduzir o pó e evitar a desagregação deste tipo de pavimento. Esta solução de pavimentação para passeios não é muito utilizada em zonas urbanas devido à sua menor durabilidade, com exceção de zonas de parque ou vias ecológicas onde seja importante assegurar uma maior permeabilidade do pavimento.

#### 2.6.6. Betão betuminoso

O pavimento em betão betuminoso (Figura 10) é contínuo, formando uma superfície homogénea e regular, é confortável para a circulação pedonal e tem boa aderência.

No que se refere à resistência estrutural caracteriza-se por ter uma boa resistência, assim como por ter uma boa durabilidade em relação às condições atmosféricas (Ferreira, 2007).



Figura 10 – Pavimento em betão betuminoso na Av. 31 de Janeiro, em Braga (Google Maps, 2023)

#### 2.6.7. Pavimentos cerâmicos

Os pavimentos cerâmicos (Figura 11) são muitas vezes utilizados em passeios por serem fáceis de produzir e de colocar, podendo ser aplicados em conjunto com outros materiais de pavimentação, estando ainda disponíveis numa grande variedade de formatos e cores. Além disso, são conhecidos pela sua resistência às condições atmosféricas. Quando bem instalados, estes pavimentos são estáveis e duradouros (Gibbons, 1999). Todavia, estes pavimentos podem causar vibração que é particularmente adversa para os peões com mobilidade reduzida (FHWA, 2013).



Figura 11 – Pavimento cerâmico na rua 25 de Abril em Braga

### 2.6.8. Argamassa de cimento

A argamassa de cimento (Figura 12) é uma mistura de cimento, areia e água. As argamassas podem ser utilizadas em diversas situações, tais como nas juntas entre blocos de betão ou cerâmicos, mas também podem ser aplicadas diretamente como revestimento de passeios.



Figura 12 – Pavimento em argamassa na rua Conselheiro Januário em Braga

Quanto às propriedades, é um pavimento com boa resistência ao impacto de cargas e ao desgaste superficial, com boa aderência e rugosidade e com um acabamento decorativo personalizável. Além disso, o seu processo de aplicação é simples, económico e rápido. Estes pavimentos podem ser aplicados de forma contínua, embora seja desejável a existência de algumas juntas ocasionais para evitar a ocorrência de fendas de retração.

Os pavimentos em betão de cimento são similares aos anteriores (argamassa), mas incluem brita na sua constituição, o que aumenta a sua resistência.

### 3. METODOLOGIA E CASO DE ESTUDO

Esta dissertação baseia-se numa abordagem mista, combinando componentes de avaliação dos passeios objetivas e subjetivas. A componente objetiva envolve a avaliação experimental de cinco indicadores: irregularidade, atrito, textura, temperatura (conforto térmico) e refletância solar ou albedo (conforto visual) dos diversos tipos de pavimento utilizados no passeio ao longo de um percurso selecionado (caso de estudo). A componente subjetiva baseia-se num questionário presencial feito aos peões no percurso selecionado, o que permite compreender a perceção que os mesmos têm sobre as condições oferecidas dos passeios.

Inicialmente, as características gerais dos passeios foram recolhidas por meio de um levantamento feito na rua, ao longo do percurso selecionado, para identificar os materiais de pavimentação utilizados e as suas condições de conservação. Em seguida, o desempenho dos cinco indicadores acima referidos foi avaliado *in situ* em sete locais específicos selecionados ao longo do percurso, e que procuraram representar os principais tipos de passeios existentes e suas condições de conservação. Também foram realizadas algumas medições de forma contínua, ao longo de todo o percurso, com um sensor de temperatura e um acelerómetro, para se compreender como variam a temperatura e a irregularidade em todo o percurso, e não apenas nos pontos selecionados.

A avaliação da qualidade dos pavimentos dos passeios é muito importante na gestão destes ativos, porque permite perceber se os objetivos do planeamento, do projeto e da construção foram satisfeitos, para além de permitir determinar a evolução do estado dos pavimentos. Para avaliar essa qualidade é necessário determinar os seguintes parâmetros:

- Irregularidade da superfície, textura, atrito, conforto térmico e albedo – parâmetros que interferem na segurança e conforto do utilizador e permitem estimar a qualidade funcional;
- Estado superficial (degradações superficiais) – permite identificar o estado de degradação da superfície do pavimento, e a necessidade de reparação do mesmo.

Como se demonstrou na revisão da literatura, os parâmetros referidos anteriormente são os que mais interferem na qualidade funcional do pavimento dos passeios. A qualidade funcional, face aos objetivos de segurança e conforto, poderá ser devidamente avaliada através dos parâmetros de aderência, avaliada através do coeficiente de atrito, e irregularidade longitudinal. O estado de degradação da superfície do pavimento também interfere na qualidade funcional do pavimento, e pode ser identificado através da observação e registo ao longo do percurso.

Para determinar os diversos indicadores de desempenho dos pavimentos dos passeios foram usados vários equipamentos. Esses indicadores foram avaliados seguindo as mesmas condições de procedimento para todos os locais. Além disso, todos os métodos foram elaborados de forma coordenada para a aquisição de dados serem enviados em tempo real para um computador portátil.

A irregularidade pode ser causada por diversos fatores, tais como superfícies partidas, deformadas ou fendilhadas. No entanto, a irregularidade também pode resultar da solução construtiva escolhida para o passeio ter resultado numa superfície mais irregular, mesmo que esta não esteja degradada. Este indicador foi medido com uma régua de 3 metros instrumentada com um laser para obtenção do perfil da superfície dos passeios. Além disso, a irregularidade de todo o percurso também foi estimada através de um acelerómetro instalado num carrinho de bebé, juntamente com um sistema (*encoder*) que permite determinar a distância percorrida desde a origem.

O atrito é um parâmetro fundamental, uma vez que uma superfície de pavimento com atrito adequado minimiza o risco de quedas por escorregamento. Este indicador foi avaliado através do método do pêndulo Britânico em superfície molhada.

A textura está relacionada com a rugosidade da superfície, que influencia a drenagem e a deformação da superfície, bem como o atrito. A textura foi avaliada através do método da Profundidade Média do Perfil (MPD) a partir de dezasseis perfis da superfície de cada pavimento obtidas com um laser numa área com 30 cm<sup>2</sup>. Não se aplicou o método da mancha de areia para medição da textura pela dificuldade de aplicação desse método em várias superfícies em estudo, em especial aquelas que têm juntas.

O conforto térmico determina o nível de conforto dos peões relativamente à temperatura da superfície do pavimento, que também influencia a temperatura ambiente sentida na rua. Este indicador foi medido nos sete locais em análise com um termómetro de infravermelho, complementado com imagens pontuais obtidas com câmara termográfica. Além disso, também foi instalado no carrinho de bebé um sensor infravermelho para medição da temperatura da superfície ao longo de todo o percurso.

Por último, a refletância solar (albedo) mostra a fração de energia solar que um material de pavimentação reflete, o que influencia o conforto térmico e visual dos peões. Este indicador foi medido com um piranómetro que quantificou a energia solar incidente em cada local, e refletida pelo pavimento. De referir que os materiais com maior valor de albedo ou reflexão solar apresentam como vantagem, reduzir o fenómeno da ilha de calor urbano, sendo uma vantagem ambiental adicional. Contudo, também pode apresentar como desvantagem o desconforto visual, provocando encadeamento.

Em relação à análise subjetiva, o objetivo do questionário foi o de compreender a perceção dos peões sobre as condições gerais dos passeios e em especial sobre os seus pavimentos. O questionário incluiu perguntas com avaliação através da escala Likert, da qual os inquiridos foram convidados a avaliar a influência da regularidade da superfície dos passeios, do atrito, textura, conforto térmico e da refletância (albedo) dos materiais na predisposição que têm para andar a pé.

A Figura 13 apresenta um esquema síntese com as principais etapas da metodologia para avaliação dos pavimentos dos passeios adotadas neste estudo de um percurso pedonal em Braga.

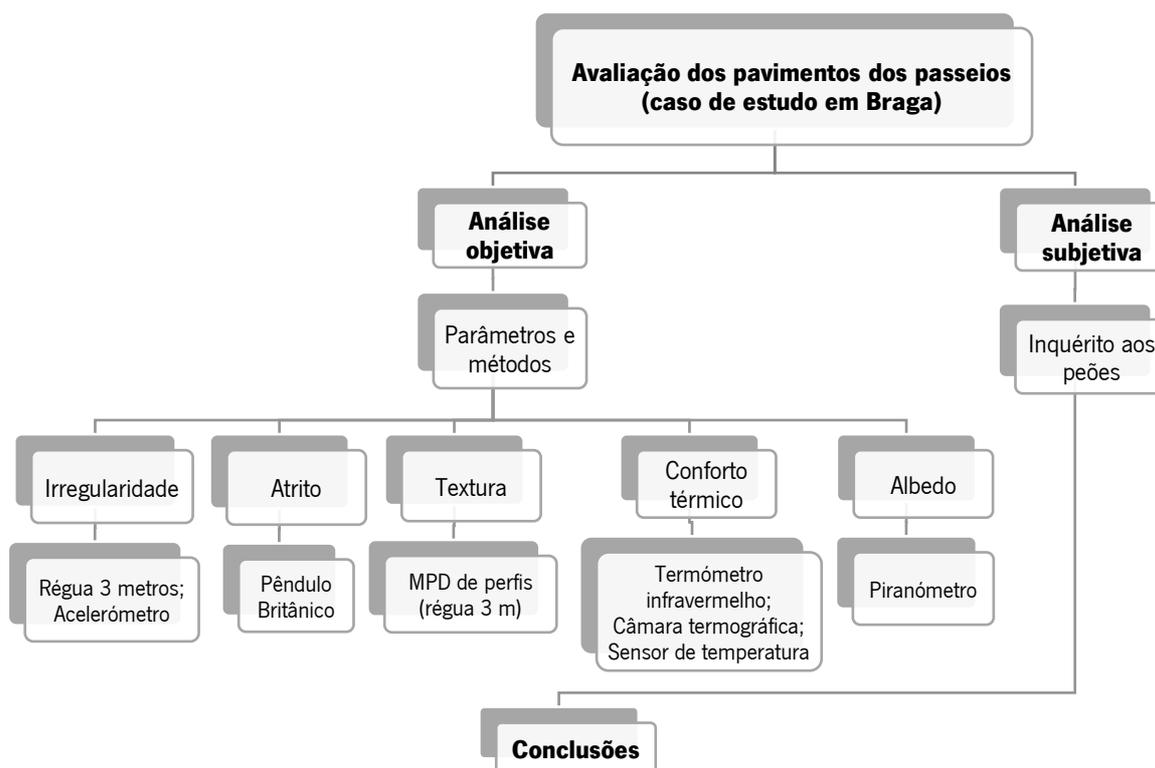


Figura 13 – Esquema síntese com as principais etapas da metodologia para avaliação dos pavimentos dos passeios

De seguida, vão ser apresentados de forma mais pormenorizada os parâmetros e métodos utilizados para avaliar a qualidade funcional dos pavimentos dos passeios.

### 3.1. Análise objetiva

#### 3.1.1. Irregularidade

A irregularidade é descrita como a diferença entre o perfil longitudinal da superfície de referência e o perfil longitudinal da superfície do pavimento em estudo.

A irregularidade nos passeios pode ser provocada por uma série de fatores, incluindo os materiais que constituem os passeios terem sido construídos de forma pouco regular, estarem levantados, partidos ou rachados, a presença de buracos ou irregularidades provocadas pelas raízes das árvores, entre outros (GSLLP, 2013). É possível avaliar dois tipos de irregularidade nos passeios, a longitudinal (ao longo do percurso) e a transversal (na direção perpendicular ao percurso). Ambos os tipos de irregularidade provocam desconforto e representam riscos para os peões. No entanto, neste trabalho só foi possível determinar a irregularidade longitudinal, por dificuldade em realizar medições transversais nos passeios em todos os locais em estudo.

A irregularidade longitudinal está associada às irregularidades dos pavimentos que existem ao longo de um passeio e podem obrigar os peões a fazerem desvios indesejáveis ou a andarem nas faixas de rodagem (Barella, 2008). A irregularidade do perfil longitudinal pode ser analisada sob dois aspetos:

- i) Geométricos (variações da geometria existente relativamente à geometria ideal);
- ii) Efeitos físicos provocados pela irregularidade.

Estes dois tipos de análise definem a irregularidade longitudinal de modos diferentes. No primeiro caso, a irregularidade longitudinal é considerada como sendo o conjunto de desnivelamentos da superfície do pavimento em relação ao seu perfil teórico. No segundo caso, a noção de irregularidade compreende todos os defeitos da superfície do pavimento que são possíveis de causar vibrações para os peões, o que afeta diretamente o conforto e segurança dos mesmos. A avaliação da irregularidade de acordo com cada um dos tipos de análise já referidos realiza-se com equipamentos de medida diferenciados (Menezes, 2008).

Ao longo das últimas décadas foram sendo desenvolvidos diferentes tipos de equipamentos para a avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos, sendo de referir os seguintes (Menezes, 2008):

- Equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo;
- Equipamentos de referência geométrica simples;
- Equipamentos baseados na obtenção de uma “imagem” do perfil da superfície do pavimento.

Estes equipamentos têm sido mais utilizados na avaliação de pavimentos rodoviários (Dias, 2014). Os equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo não são muito utilizados devido às dificuldades em se manter a fiabilidade dos resultados ao longo do tempo. Atualmente, os equipamentos que determinam uma “imagem” do perfil superficial do pavimento são os mais utilizados, sendo

denominados como perfilómetros, pois apresentam resultados mais representativos da realidade e uma maior facilidade quanto à sua utilização (Curado, 2019).

Entre os equipamentos referidos anteriormente para a análise da irregularidade do perfil longitudinal de uma superfície, de acordo com Pereira & Miranda (1999), os mais utilizados de acordo com cada modo de funcionamento são os seguintes:

- *Bump Integrator, Maysmeter* e NASS (equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo);
- Régua de três metros (equipamento de referência geométrica simples);
- Perfilómetro APL e Perfilómetro General Motors (equipamentos baseados na obtenção de uma “imagem” do perfil da superfície do pavimento).

A irregularidade transversal é de igual modo um fator importante para avaliar a qualidade global de um passeio, estando essencialmente associada à inclinação lateral. A este nível, os principais problemas estão diretamente relacionados com desconforto e com possíveis quedas por parte dos peões devido a desequilíbrios laterais e escorregadelas. A observação da irregularidade transversal consiste na obtenção do perfil transversal do pavimento, tendo interesse para:

- Avaliar se a inclinação transversal se ajusta à do projeto (controlo de qualidade);
- Detetar zonas onde se possa verificar acumulação de água;
- Avaliar a evolução do comportamento do pavimento quanto a fenómenos de pós-compactação, deformações plásticas e assentamentos diferenciais (Pereira *et al.*, 1999).

As irregularidades podem aumentar ao longo da vida do pavimento, devido a assentamentos irreversíveis e distintos, afetando a capacidade funcional do pavimento, além de dar indicações da incapacidade estrutural do mesmo.

A observação da irregularidade longitudinal consiste na obtenção do perfil longitudinal do pavimento. O equipamento escolhido para fazer a avaliação da irregularidade longitudinal dos passeios neste trabalho foi a régua de 3 metros, pois é um método de ensaio estacionário e conceptualmente simples para medir irregularidades na superfície dos pavimentos dos passeios (Figura 14). Este equipamento é de fácil utilização e serve para o levantamento de algumas degradações e deformações permanentes (por exemplo, rodeiras) e das irregularidades existentes nos pavimentos, podendo ainda detetar zonas de acumulação de água.



Figura 14 – Ensaio com a régua de 3 metros na calçada à Portuguesa em Braga (à esquerda) e laser com viseira de proteção do sol (à direita)

O ensaio foi efetuado com a régua de 3 metros colocada longitudinalmente na superfície do passeio em estudo, com três medições por local para determinar o valor médio de irregularidade. A régua deve ser rígida, permanecer na horizontal e estar desempenada. O equipamento possui um laser que percorre a régua para registar o perfil da superfície ensaiada por comparação ao perfil de referência da régua colocada na horizontal e numa superfície completamente lisa, avaliando assim todas as deformações que existem ao longo desses três metros. Quanto mais variações de deformação forem identificadas ao longo desses três metros, maior será a irregularidade média (em mm/m) do pavimento em estudo (Equação 1), que corresponde ao somatório dos desvios verticais ( $y$ ) do perfil medido em relação ao perfil de referência por unidade horizontal de percurso ( $L$ ).

$$\text{Irregularidade média} = \frac{1}{L} \times \int_0^L |y_{\text{perfil}} - y_{\text{referência}}| dx \quad (1)$$

Este ensaio é utilizado para medições pontuais, tanto longitudinais como transversais, ou em qualquer outra direção (Alves, 2007). Contudo, possui a limitação física do comprimento de três metros quando se pretende efetuar medições entre dois pontos específicos de contacto que se encontrem a uma maior distância, dificultando também a medição transversal em passeios estreitos.

Também foi utilizado outro ensaio para avaliar de forma contínua e indireta a irregularidade longitudinal através da aceleração vertical de um carrinho de bebé que se deslocou ao longo de todo o percurso. A Figura 15 mostra o carrinho de bebé instrumentado, com um acelerómetro devidamente colocado para

medir a aceleração vertical do carrinho e, conseqüentemente, determinar quais os locais mais irregulares onde ocorreram maiores movimentos verticais do mesmo. O sistema foi ainda equipado com um codificador rotativo (*encoder*) para medir a distância do percurso, de forma coordenada com a aquisição de dados, que são enviados em tempo real para um computador portátil. O *encoder* rotativo é um sensor instalado na roda do carrinho de bebé, permitindo medir de forma precisa o deslocamento (Figura 16). O registo de todas as medições foi feito em simultâneo por um *software* desenvolvido em *LabVIEW*.

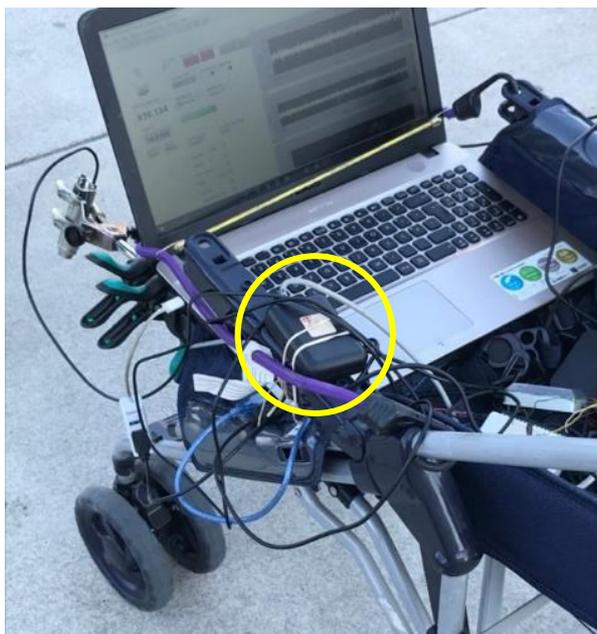


Figura 15 – Acelerómetro colocado no carrinho de bebé e painel do *software* utilizado para registo das medições no computador portátil



Figura 16 – *Encoder* rotativo colocado na roda do carrinho de bebé para medição da distância percorrida

### 3.1.2. Atrito

Em física, o atrito é designado como sendo uma força natural que atua quando um objeto está em contacto com outro e sofre a ação de outra força que tem tendência a colocá-lo em movimento. Dependendo da força natural que age num objeto em contacto com uma superfície, a força de atrito será tanto maior quanto maior for a força normal (Halliday *et al.*, 2006, citado em Silva, 2008). Assim, o atrito é uma componente fundamental associada ao desgaste mecânico. Por definição, é a força de resistência ao movimento de um objeto que desliza sobre outro e depende do material dos objetos em contacto.

Pode ser visto como um estado de rugosidade entre os objetos em contacto, permitindo uma troca de forças, numa direção tangencial à região de contacto entre os objetos. O sentido da força de atrito é sempre contrário ao movimento dos mesmos (Relhas, 2012).

O atrito é um parâmetro fundamental para a segurança e conforto dos peões, uma vez que um passeio com um atrito adequado minimiza o risco de quedas (escorregadelas). Normalmente, o atrito é medido em piso molhado, porque quase todas as camadas de desgaste apresentam bons níveis de resistência à derrapagem em piso seco (Menezes, 2008). Este parâmetro é de carácter evolutivo no tempo e depende de vários fatores que são inerentes ao tipo e ao estado do pavimento e dependem ainda das condições atmosféricas e da época do ano (Pinto, 2003; Santos, 2007a). O atrito e, conseqüentemente, a resistência à derrapagem de um pavimento, pode ser influenciada por fatores tais como o polimento ou desgaste da superfície do pavimento, a exsudação, o aparecimento de discontinuidades devido a fendas, a acumulação de água, a redução da porosidade, entre outros fatores (Yoder & Witczak, 1975; Branco *et al.*, 2006). Assim, a avaliação do atrito é muito importante na monitorização e manutenção dos pavimentos, para proporcionar aos peões um adequado nível de segurança (Geocisa, 2007).

Uma vasta gama de métodos e equipamentos estão disponíveis para medir o atrito. A medição pode ser feita em contínuo (métodos dinâmicos) ou num ponto específico (métodos estáticos). Em Portugal, os equipamentos mais usados para medição do atrito em contínuo são o SCRIM (*Sideway-Force Coefficient Road Investigation Machine*) e o *Grip-Tester*. Estes equipamentos medem a resistência à derrapagem em piso molhado. Para a medição do atrito pontual em pavimentos, o método mais utilizado é o pêndulo Britânico, que pode ser utilizado em pontos localizados no pavimento, ou ainda em estudos em laboratório (Menezes, 2008).

Neste estudo, a medição do nível de atrito dos diferentes tipos de pavimentos foi feita através do método do pêndulo Britânico. O ensaio do pêndulo Britânico foi desenvolvido pelo *United States National Bureau*

of Standards, e posteriormente aperfeiçoado pelo *British Road Research Laboratory*, com o objetivo de executar ensaios de resistência à derrapagem (Dynatest, 2007). O pêndulo Britânico (Figura 17) é um equipamento portátil utilizado para avaliar as características de aderência de um pavimento. Pavimentos com elevado atrito podem provocar mais cansaço para os peões. Contudo, um pavimento com baixo atrito pode levar os peões a escorregarem com maior facilidade, causando desconforto ou até lesões.



Figura 17 – Pêndulo Britânico utilizado para medir o atrito

O pêndulo Britânico é um dos equipamentos mais simples e economicamente viáveis para avaliar as características de atrito (microtextura) de um pavimento, sendo extremamente versátil na aplicação em várias situações (Lee *et al.*, 2005). Este ensaio é útil para avaliar as propriedades de atrito do pavimento a baixa velocidade, tendo as seguintes vantagens: (a) leve, portátil e conveniente para ensaios de laboratório e de campo, sem necessidade de eletricidade ou bateria; (b) baixo custo, fácil operação e calibração; (c) reduzida amostragem em ensaios de laboratório; e (d) capaz de medir as propriedades de atrito direcional da superfície de ensaio (Henry, 2000; Chu *et al.*, 2019; Putra *et al.*, 2019).

Este equipamento permite a medição pontual do coeficiente de atrito longitudinal (*Pendulum Test Value, PTV*, equivalente ao *British Pendulum Number, BPN*), através da avaliação da energia absorvida por atrito, quando uma superfície de borracha fixada na extremidade do braço do pêndulo desliza sobre o pavimento (Dynatest, 2007).

A norma europeia EN 13036-4:2011 descreve o método para determinar a resistência ao atrito de uma superfície, em campo ou em laboratório, com características não homogêneas, como a presença de fissuras ou uma textura rugosa, usando um dispositivo que permanece estacionário no local do ensaio

(pêndulo Britânico). O ensaio é efetuado com um pêndulo constituído por um braço de rotação articulado numa coluna vertical fixa na base horizontal, com o deslizador na extremidade livre que funciona como simulador da superfície de um pneu (Figura 18). O ensaio consiste em deixar libertar o braço do pêndulo, a partir da sua posição horizontal, que oscila para baixo com força uniforme cada vez que é libertado. Posteriormente, regista-se o valor da escala correspondente à altura máxima atingida depois de ter rodado em torno do seu eixo horizontal de apoio e ter atuado sobre a superfície do pavimento molhada (Branco *et al.*, 2006). O atrito entre a borracha do pêndulo e a superfície do pavimento provoca uma perda de energia do pêndulo, a qual será proporcional às características de rugosidade (micro) dessa superfície (Afonso, 2021).

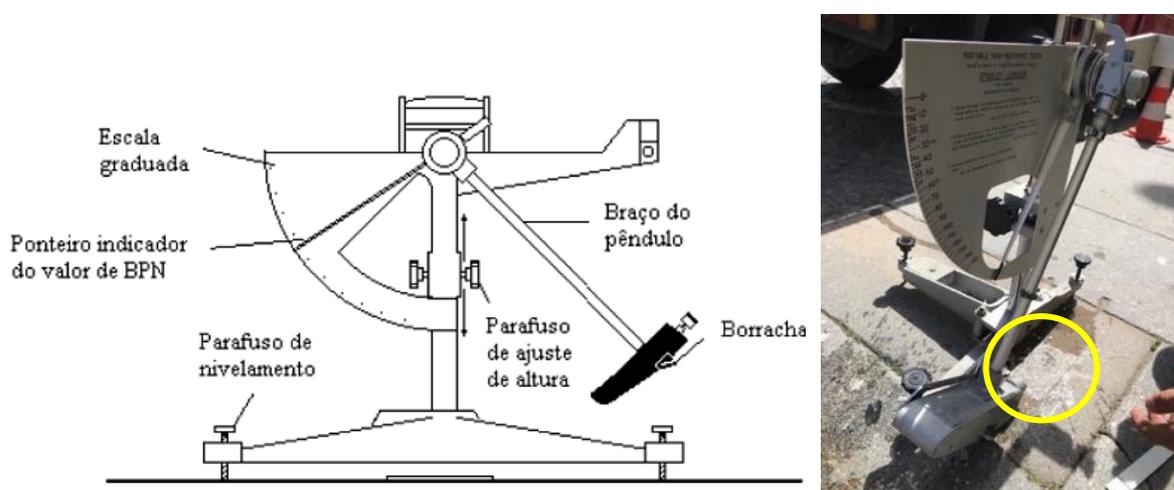


Figura 18 – Descrição do pêndulo Britânico (à esquerda) (Santos, 2007b); ensaio feito com o pêndulo Britânico num pavimento em Braga (à direita)

As leituras obtidas na escala graduada do pêndulo correspondem ao valor de *PTV* que representa a perda de energia absorvida por atrito, quando a borracha do pêndulo desliza sobre a superfície do pavimento. Quanto maior for o atrito, menor é a oscilação do pêndulo e maior será o valor da resistência à derrapagem oferecida pela superfície do pavimento à passagem da borracha do pêndulo (Alves, 2007), originando um maior valor de *PTV*. O valor de *PTV* corresponde à média de cinco medições consideradas, que posteriormente são normalizadas para a temperatura de 20 °C de acordo com a correção da norma EN 13036-4. De notar que as temperaturas da superfície do pavimento podem influenciar significativamente os resultados da resistência ao atrito. O Caderno de Encargos das Estradas de Portugal (2014) restringe o valor de *PTV* a um valor superior a 60 para avaliar positivamente o coeficiente de atrito da superfície de uma estrada. No que se refere à avaliação do valor do ensaio de pêndulo (*PTV*) para passeios, os valores de referência surgem na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de referência do ensaio do pêndulo Britânico (adaptado da norma europeia EN 13036-4)

<b>Risco de escorregamento para peões</b>	<b>Avaliação</b>
Elevado risco de escorregamento	Inferior a 24 <i>PTV</i>
Moderado risco de escorregamento	25 a 35 <i>PTV</i>
Baixo risco de escorregamento	36 a 74 <i>PTV</i>
Extremamente baixo risco de escorregamento	Superior a 75 <i>PTV</i>

Muitos fatores, como o tipo de atividade pedonal e o peão (como a idade, a capacidade física e o tipo de calçado) também devem ser considerados. O valor mínimo de resistência ao deslizamento considerado seguro para os peões em espaços públicos é de 36 *PTV* nas piores condições de deslocação.

### 3.1.3. Textura

A superfície de um pavimento também pode ser avaliada no que se refere à sua textura. Segundo Menezes (2008), a textura superficial de um pavimento constitui uma das mais relevantes propriedades da sua qualidade funcional, visto que a textura de um pavimento tem influência direta na segurança (Delanne, 1993, citado em Menezes, 2008). Em termos de textura, pode falar-se de microtextura, macrotextura e megatextura (Silva, 2008, citado em ABPv, 2009). A microtextura está relacionada com a própria superfície do agregado mineral, a qual pode ser áspera ou polida. A maneira mais comum de ser medir a microtextura é através do ensaio do pêndulo Britânico (Specht *et al.*, 2007). A macrotextura são rugosidades superficiais do pavimento e correspondem ao tamanho do agregado. Está relacionada com a capacidade de o pavimento drenar a água superficial e pode ser medida por um método volumétrico, nomeadamente, a mancha de areia (Specht *et al.*, 2007). A megatextura, em geral, é o resultado das deformações e degradações de comprimento reduzido da superfície da camada de desgaste e condiciona a comodidade e a segurança dos utilizadores (Freitas, 2008).

O método da “mancha volumétrica”, também designado por “mancha de areia”, tem sido utilizado durante décadas por calcular um único valor representativo da textura da superfície. Este método baseia-se no espalhamento sobre uma superfície de um determinado volume de areia ou de esferas de vidro, de modo a formar uma mancha circular, medindo-se o respetivo diâmetro (Figura 19). Através da divisão do volume do material espalhado pela área da superfície resultante obtém-se um valor que representa a profundidade medida da camada de areia ou de esferas de vidro, ou seja, a “profundidade média da textura” (Freitas & Pereira, 2008).

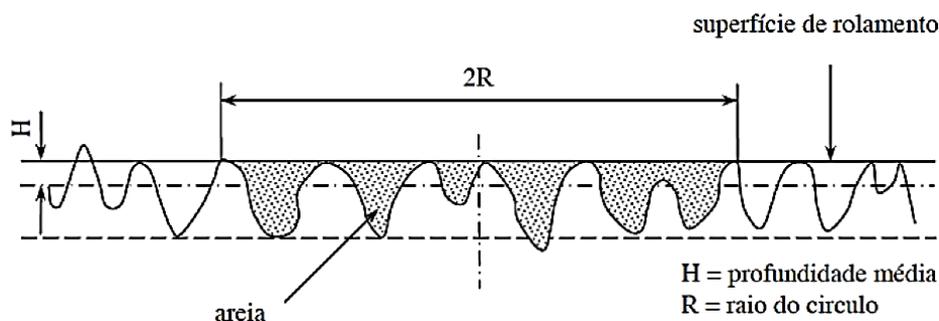


Figura 19 – Ilustração do princípio do método da mancha de areia (Freitas & Pereira, 2008)

A partir dos desenvolvimentos das técnicas de medição sem contacto do perfil de uma superfície, passou a ser possível substituir as medições de mancha volumétrica pelas medições resultantes do registo de perfis. Um perfil de uma superfície é uma representação bidimensional, gerada por um sensor, como a ponta de uma agulha ou laser, que toca ou atinge continuamente a superfície do pavimento, à medida que é movido ao longo do mesmo. Este método é adequado para determinar a Profundidade Média do Perfil da superfície do pavimento. Por ser complicado utilizar o método da "mancha de areia" na superfície de passeios com diversas juntas, neste estudo a textura dos pavimentos foi avaliada com base na Profundidade Média do Perfil da superfície do pavimento, como se explica de seguida.

O ensaio com o perfilómetro laser permite determinar a textura de um pavimento medindo a profundidade da mesma. A Profundidade Média do Perfil (MPD) com um determinado comprimento de cálculo corresponde à média dos valores obtidos em perfis individuais nele contidos cuja linha de base deve ter  $100 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$  de comprimento. A Figura 20, ilustra as definições de linha de base (*baseline*), profundidade do perfil (*Profile Depth* – PD) e da profundidade média do perfil (*Mean Profile Depth* - MPD).

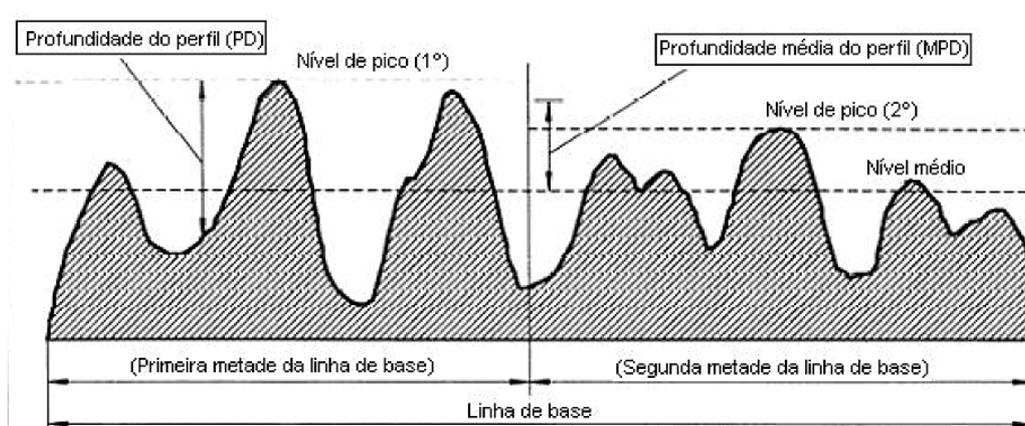


Figura 20 – Ilustração dos termos linha de base, profundidade do perfil (PD) e profundidade média do perfil (MPD) (adaptado de ISO 13473-1:2011)

Em cada perfil individual, o nível de pico mais elevado sobre cada metade da linha de base deverá ser identificado. De seguida, faz-se a média aritmética dos níveis dos dois picos à qual se subtrai o nível médio do perfil, de acordo com a Equação 2.

$$MPD = \left( \frac{1^{\circ} \text{ nível de pico} + 2^{\circ} \text{ nível de pico}}{2} \right) - \text{nível médio} \quad (2)$$

A Profundidade Média do Perfil (MPD) pode ser convertida numa quantidade que estima a profundidade da macrotextura de acordo com o método volumétrico da mancha. O termo utilizado quando a Profundidade Média do Perfil é usada para calcular a Profundidade Média da Textura (MTD) é a Profundidade Estimada da Textura (*Estimated Texture Depth* - ETD). O valor de MPD pode ser transformado em ETD aplicando a Equação 3, de acordo com a norma ISO 13473-1:2011, sendo ETD e MPD expressos em milímetros.

$$ETD (mm) = 0,2 + 0,8 \times MPD (mm) \quad (3)$$

Para a medição dos perfis da superfície necessários para determinar a textura foi utilizada a régua de três metros já descrita anteriormente (Figura 21). A Profundidade Média do Perfil foi calculada com dezasseis perfis de 30 cm, espaçados entre si 2 cm, numa área com 30 cm<sup>2</sup>. A Profundidade Média do Perfil foi depois convertida para a Profundidade Estimada da Textura, de acordo com a Equação 2. O registo dos perfis de superfície foi realizado por um *software* desenvolvido em LabVIEW.

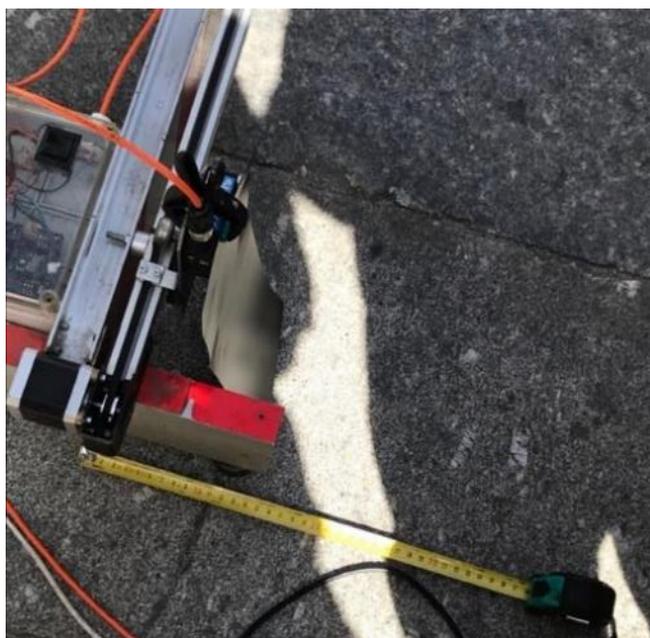


Figura 21 – Ensaio para medição dos perfis de superfície para determinação da profundidade média do perfil num pavimento de lajes de pedra, em Braga

De referir que pavimentos com baixa textura, ou uma textura mais lisa, podem ser mais confortáveis, mas podem originar superfícies com menos atrito. Superfícies mais rugosas podem ser mais desconfortáveis, mas garantem menor risco de quedas e uma melhor drenagem da água.

#### 3.1.4. Aquisição de dados sobre os diversos tipos de pavimento

Para o levantamento dos dados dos diversos tipos de pavimento existentes ao longo de todo o percurso, utilizou-se um dispositivo GPS, uma WebCam e um *software* desenvolvido em LabVIEW (Figura 22) para aquisição de dados associados a uma certa distância (medida com o *encoder*), e todo este sistema foi instalado no carrinho de bebé. Todos os dispositivos estavam a trabalhar de forma coordenada para a aquisição de dados, que eram enviados em tempo real para um computador portátil.



Figura 22 – Ecrã interativo do *software* utilizado na aquisição de dados

O *software* tem disponível um ecrã interativo com um conjunto de botões associados a determinadas categorias (neste caso, tipos de pavimento) que podem ser seleccionadas para adquirir os dados. Assim, foram introduzidos todos os tipos de pavimentos que existiam no percurso, assim como passadeiras, travessias sem passadeira e passagens superiores. Ao percorrer o percurso com o carrinho de bebé pressionava-se a tecla adequada a cada mudança do tipo de pavimento existente. Desta forma foi possível quantificar a extensão exata de cada tipo de pavimento, e conhecer a sua localização.

#### 3.1.5. Conforto térmico

Quando o balanço das trocas de calor do homem com o ambiente não lhe causa desconforto, entende-se que há conforto térmico (Monteiro, 1990). No que se refere ao nível térmico, os pavimentos com

materiais escuros, como as misturas betuminosas, contribuem para aumentar a temperatura ao nível do solo, devido a uma maior absorção da energia solar. Inversamente, os pavimentos com materiais claros, como a calçada à Portuguesa, são caracterizados por menores temperaturas médias ao nível do solo, devido a uma maior refletância da luz solar. Assim, a cada tipo de pavimento estão associados diferentes níveis de absorção e reflexão da radiação solar. Alguns estudos, como o de Djekic *et al.* (2018), mostram que a temperatura em passeios com materiais mais escuros (por exemplo, misturas betuminosas, granito escuro) é cerca de 8 °C superior à temperatura ambiente. A utilização de materiais claros aumenta o conforto térmico dos peões, e reduz as ilhas de calor em meio urbano, mas pode, no entanto, criar desconforto visual devido à elevada refletância de luz (Taleghani & Berardi, 2018).

O conforto térmico influencia diversas atividades diárias, incluindo a produtividade e o bem-estar das pessoas. Também influencia a atividade pedonal pois, por exemplo, temperaturas elevadas levam os peões a andar mais em passeios com sombras ou a substituir o modo pedonal por outros modos que assegurem maior conforto. No entanto, os efeitos das condições atmosféricas e, em particular, do calor e as respostas do ser humano a essas condições é um tema ainda não muito explorado.

De acordo com Doulos *et al.* (2014), o desempenho térmico dos materiais é determinado pelas suas características de absorção (capacidade de absorver os raios solares que chegam à superfície) e refletância (taxa de radiação solar refletida ao entrar em contacto com a superfície, também conhecida como albedo), o que depende da cor da superfície.

O conforto térmico nos passeios está intimamente ligado com a sua temperatura à superfície, que pode ser avaliada através de sensores de temperatura ou câmaras termográficas. Os sensores de temperatura convertem informação sobre a temperatura em sinais elétricos, que podem ser interpretados por instrumentos de medição, por visores, por automatismos, ou outros. Nos sensores de temperatura, destacam-se dois tipos totalmente distintos: (i) os sensores de contacto, que correspondem à maioria dos sensores de temperatura e cujo elemento (sensor) se encontra no ponto de contato entre o sensor e o objeto da medição, e; (ii) os sensores sem contacto, que utilizam a tecnologia de infravermelhos para medir a temperatura de uma superfície à distância. O sensor de temperatura de infravermelhos mede a radiação de uma superfície na faixa da radiação infravermelha para assim obter o valor da temperatura da superfície. A principal vantagem deste tipo de sensor é que ele funciona remotamente, isto é, sem qualquer contacto físico com a superfície a medir, podendo ser utilizado em objetos em movimento e à distância. A câmara termográfica é um tipo específico de câmara térmica de alta qualidade e precisão,

que é usada para criar imagens térmicas de alta-definição. São capazes de medir a temperatura de cada ponto em uma imagem com alta precisão, por meio de infravermelhos.

Pela maior facilidade na sua utilização, neste estudo optou-se por utilizar um termómetro de infravermelho (pistola de temperatura) para registar as temperaturas da superfície de todos os pavimentos nos sete locais em análise, tal como se pode verificar no exemplo da Figura 23. Além disso, nos locais dos ensaios pontuais também foi usada uma câmara termográfica (Figura 24) para verificar as variações de temperaturas entre o passeio e o meio envolvente.



Figura 23 – Temperatura registada na superfície do passeio com blocos de betão com o termómetro de infravermelhos

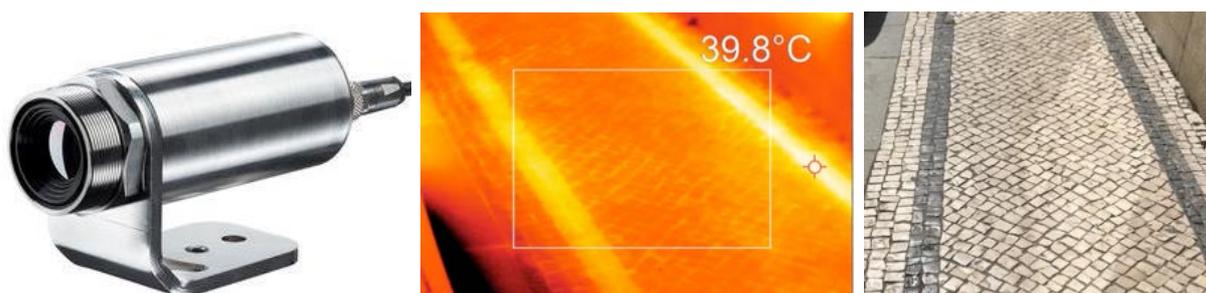


Figura 24 – Câmara termográfica (à esquerda) (Google, 2023), imagem térmica do pavimento em calçada à Portuguesa (no centro) e correspondente do pavimento em calçada à Portuguesa (à direita), em Braga

O conforto térmico também foi avaliado ao longo de todo o percurso escolhido recorrendo a um sensor infravermelho de temperatura para captar a temperatura da superfície. O sensor foi colocado no carrinho de bebé (Figura 25) e direcionado para a superfície do pavimento ao longo de todo o percurso. O registo da temperatura e da distância (*encoder*) foi realizado em simultâneo por um *software*, desenvolvido em LabVIEW, conectado a um computador portátil.



Figura 25 – Sensor infravermelho de temperatura colocado no carrinho de bebé para medição contínua da temperatura da superfície do pavimento

### 3.1.6. Albedo

A cor é uma qualidade percebida através da visão, que tem repercussões ao nível estético, mas também ao nível do conforto visual dos peões. Além disso, a cor está relacionada com a forma como a superfície em questão absorve e reflete a radiação solar incidente. As superfícies brancas apresentam alta refletância solar, o que lhes permite manter uma temperatura superficial mais baixa. As superfícies escuras apresentam baixa refletância (alta absorção), estando associada a temperaturas superficiais mais elevadas (Levinsom *et al.*, 2005).

Contudo, dependendo do nível de exposição solar, a utilização de pavimentos claros gera uma maior reflexão da luz, que pode gerar desconforto visual aos peões (encadeamento). A utilização de pavimentos escuros diminui este problema, mas geralmente agrava o desconforto térmico, pois os materiais escuros têm um menor albedo, promovendo uma maior absorção da radiação solar e consequente aumento da temperatura (Soares, 2017). Menores valores de albedo dos pavimentos também estão associados a ilhas de calor urbano, um problema em várias cidades devido à maior retenção de calor.

O albedo, também chamado de refletância solar, é um parâmetro usado para quantificar a proporção da radiação solar refletida por uma superfície. O albedo é a razão entre a radiação refletida por uma superfície e a radiação que sobre ela incide (Qin *et al.*, 2018), e expressa-se na escala entre 0 e 1. Um albedo de 0,30, por exemplo, significa que 30% da radiação solar que atinge uma superfície é refletida e 70% da mesma absorvida pela superfície (Cortesão, 2013).

A refletância solar ( $\rho$ ), de acordo com a Equação 4, é definida pelo quociente entre a taxa de radiação solar refletida por uma superfície ( $\Phi_r$ ) e a taxa de radiação solar emitida sobre essa mesma superfície ( $\Phi_i$ ). Esta propriedade poderá também ser designada por albedo (Freitas & Barreira, 2012).

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (4)$$

Um albedómetro é um instrumento que mede a radiação solar emitida e refletida e, por cálculo, o albedo ou refletância solar para uma determinada superfície do solo. Um albedómetro é composto por dois piranómetros, ambos instalados horizontalmente, um deles voltado para cima medindo a radiação emitida e outro voltado para baixo medindo a radiação solar refletida. O albedo depende da distribuição direcional da radiação recebida e das propriedades da superfície do solo. Além disso, este método só deve ser aplicado em dias claros e com sol intenso, sem nuvens ou neblina durante as medições.

Apesar de só haver disponível um piranómetro no laboratório para realização deste estudo, foi possível realizar a medição do albedo seguindo o procedimento mencionado em seguida. Para o efeito, foi utilizado o piranómetro apresentado na Figura 26, que se destina à medição *in situ* da radiação solar. O piranómetro é um equipamento que tem a capacidade de medir a densidade do fluxo de radiação solar global que incide (direta) ou que reflete na superfície envolvente (difusa). Os resultados obtidos são expressos em  $W/m^2$  e medem a energia por unidade de tempo e de área. Antes de realizar cada medição, o suporte com o piranómetro foi devidamente posicionado e alinhado (Figura 27).



Figura 26 – Piranómetro devidamente montado no tripé para medição do albedo



Figura 27 – Piranómetro devidamente posicionado e alinhado para medir a radiação solar emitida, à esquerda, e a radiação solar refletida, à direita

O piranómetro ficou a 1,5 m do solo, devidamente nivelado por um nível de bolha, para aferir que se encontrava num plano horizontal e paralelo à superfície em que a medição foi realizada. De seguida, com a face do piranómetro voltada para cima foi feita a leitura da radiação solar emitida. Posteriormente, com a face do piranómetro voltada para baixo, foi lida a radiação solar refletida. As duas leituras foram constantes durante cerca de 40 segundos e ocorreram num intervalo de tempo inferior a 2 minutos. Finalmente calculou-se o albedo em cada ponto a partir das duas leituras anteriores.

### 3.2. Análise subjetiva

A análise subjetiva ou qualitativa foi feita com base num questionário presencial dirigido aos peões que circulavam num percurso selecionado entre o Centro Coordenador de Transportes de Braga (CCTB) e o Campus de Gualtar da Universidade do Minho.

O objetivo do inquérito foi o de recolher as perceções dos peões sobre os passeios e, mais especificamente, sobre os tipos de pavimentos preferidos, sobre a influência dos tipos e da condição dos pavimentos no andar a pé e sobre condições específicas dos pavimentos nos próprios locais onde os inquéritos foram feitos, nomeadamente em termos de conforto, segurança, acessibilidade e atratividade do percurso.

Assim, o inquérito foi desenvolvido com diversas questões direcionadas para os pavimentos dos passeios para, de acordo com os objetivos da dissertação, complementar os resultados da análise objetiva.

A estrutura do inquérito, apresentado no Anexo II desta dissertação, foi a seguinte:

- 1ª parte: Introdução e características dos inquiridos (género, idade, etc.);
- 2ª parte: Perfil do peão: Se é um peão regular ou não, e os respetivos motivos de andar/não, andar a pé;
- 3ª parte: Avaliação dos tipos de pavimentos em função das suas características (atrato, pavimentos permeáveis, superfícies regulares, e conforto térmico e visual) e avaliação das suas características gerais (largura, obstáculos, presença de árvores e vegetação, mobiliário urbano, etc.);
- 4ª parte: Avaliação das condições dos pavimentos no local do inquérito;
- 5ª parte: Questão final aberta sobre os passeios no percurso entre o CCTB e o Campus de Gualtar da Universidade do Minho ou sobre os passeios em geral na cidade de Braga.

O inquérito foi constituído por vinte e quatro questões. A maior parte das questões eram de escolha simples e só duas das questões foram de resposta aberta, para se aferir a preferência por determinado tipo de pavimento e para se recolher contributos para melhorar as condições pedonais ao longo do percurso e/ou na cidade de Braga. O inquérito foi complementado com fotografias de diversos tipos de pavimentos em diferentes estados de conservação para o inquirido observar e ter a certeza da sua resposta. No questionário, as respostas de avaliação dos vários parâmetros basearam-se numa escala de Likert de 1 a 5, em que 1 era um motivo *nada importante* e 5 era *muito importante*.

O questionário foi feito de forma presencial ao longo do percurso selecionado, tendo-se obtido um total de 70 respostas válidas. O tempo médio de resposta foi de 15 minutos. O inquérito foi realizado entre os dias 5 de maio de 2023 e 21 de junho de 2023.

### **3.3. Caso de estudo**

Foi selecionado como caso de estudo um percurso pedonal entre o CCTB e o Campus de Gualtar da Universidade do Minho. Este percurso liga o centro da cidade à periferia urbana, atravessando vários equipamentos públicos, zonas comerciais e residenciais, sendo utilizado por um grande número de pessoas, incluindo estudantes da Universidade do Minho. Embora muitos alunos possam utilizar outros meios de transporte para fazer este percurso (autocarro, bicicleta, trotinete elétrica, etc.) para fazer este percurso, é de admitir que alguns o façam parcialmente ou totalmente a pé. O percurso selecionado apresenta uma extensão de cerca de 3 km, ao longo dos quais se encontram diferentes tipos de pavimentos, com condições diversas em termos de estado de conservação, largura dos passeios, entre



ruas (verificou-se mais peões a circular do lado de cafés, pastelarias, restaurantes, lojas), mas também com as condições meteorológicas. Por exemplo, como a avaliação foi feita durante a primavera de 2023 e com dias de céu limpo, verificou-se que os peões preferiam os lados dos passeios com sombra das árvores ou do próprio edificado. Por isso, ao longo deste percurso, os lados escolhidos dos passeios para fazer a avaliação basearam-se no número de peões identificados a circular, tendo-se privilegiado os lados da rua com maior atividade pedonal, e os passeios em que havia facilidade de acesso com o carrinho de bebé, nomeadamente no acesso às passadeiras, e por isso foi feita uma alternância na escolha dos lados dos passeios estudados. A escolha dos lados dos passeios também se deveu ao facto de ser representativo de um conjunto de pavimentos e de condições diferentes que os passeios apresentam. Além disso, os dois lados dos passeios não são uniformes ao longo do percurso, nem em termos do tipo e condição dos pavimentos, nem em largura e presença de obstáculos. Alguns troços são mais antigos e outros mais recentes, ou seja, há uma grande diversidade de características ao longo do percurso.

Na Tabela 5 apresenta-se uma descrição do percurso escolhido, nome da rua, lado da rua que foi feita a avaliação e o tipo de pavimento existente. O lado da rua indicado corresponde ao sentido do percurso com início no CCTB e fim no Campus de Gualtar da Universidade do Minho.

Tabela 5 – Descrição do percurso com nome da rua, lado da rua e tipo de pavimento

<b>Nome da rua</b>	<b>Lado da rua (sentido CCTB-UM)</b>	<b>Tipo de pavimento</b>
Praça da Galiza	Esquerda, direita	Cubos de granito
Rua Norton de Matos	Direita, esquerda	Cubos de granito, argamassa
Rua Gabriel Pereira de Castro	Esquerda	Lajes de pedra
Rua Conselheiro Januário	Esquerda, direita	Lajes de pedra, calçada à portuguesa, blocos de betão, argamassa
Rua Conselheiro Bento Miguel	Direita	Blocos de betão
Largo Monte de Arcos	Direita	Blocos de betão
Rua do Taxa	Direita	Argamassa, cubos de granito
Rua Dom Pedro V	Esquerda, direita	Argamassa, lajes de pedra, blocos de betão
Rua Nova de Santa Cruz	Direita, esquerda	Blocos de betão, hexágonos de betão, argamassa

Na Figura 29 é possível observar no mapa os sete locais pontuais onde foram realizados os ensaios pontuais. Os sete pontos escolhidos ao longo do percurso, apresentados na Figura 30, foram selecionados para representar os principais tipos de pavimentos e condições dos passeios encontrados ao longo do percurso.

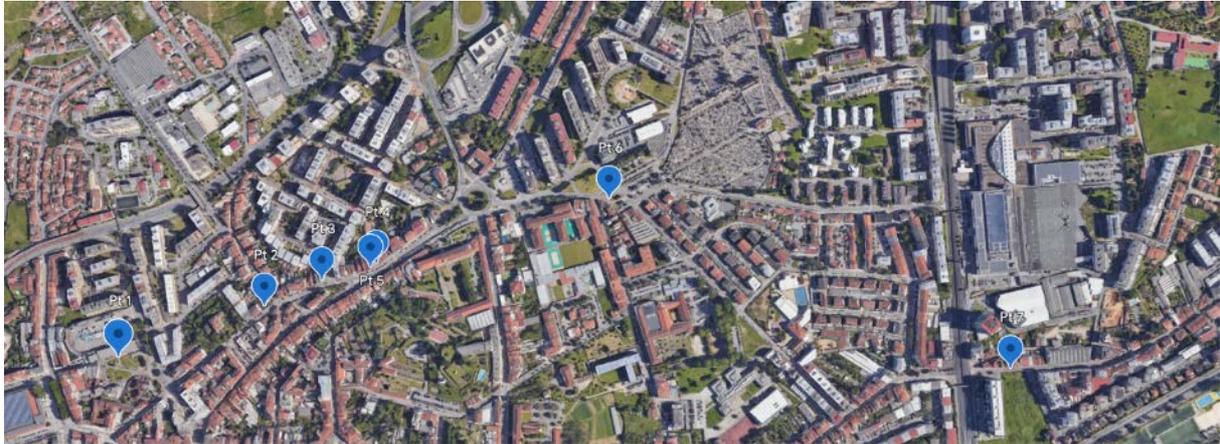


Figura 29 – Mapa com a localização dos sete pontos onde decorreram os ensaios (Google Earth, 2023)



Figura 30 – Sete locais onde foram realizados os ensaios pontuais

Os sete pontos escolhidos tiveram ainda em consideração as seguintes questões: a) não estarem junto às passadeiras para não “atrapalhar” a passagem dos peões; b) não interferirem muito com a circulação dos peões pondo em causa a sua segurança; c) terem uma largura suficiente para fazer os ensaios em segurança, e; d) que os locais fossem representativos do percurso tendo em conta o tipo de pavimento e o seu estado de conservação, para que os resultados pudessem ser comparados entre si, refletindo condições similares.

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste Capítulo apresentam-se os resultados da caracterização geral do percurso pedonal (Secção 4.1), da análise objetiva que foi realizada através de cinco parâmetros de avaliação dos pavimentos dos passeios (Secção 4.2), bem como da análise subjetiva recolhida junto dos peões através de um inquérito às condições que o percurso oferece para andar a pé (Secção 4.3).

### 4.1. Caracterização geral dos passeios ao longo do percurso

A caracterização geral do percurso baseia-se em inspeções visuais feitas aos percursos pedonais durante o trabalho de campo. Durante essa fase de recolha de informação sobre o estado de conservação dos passeios, foi possível verificar a existência de vários problemas nos seus pavimentos, nomeadamente, deformações, fendilhamento, desagregações e desnivelamentos de blocos.

As deformações ou irregularidades nos passeios com blocos levantados devido às raízes das árvores foram identificadas com frequência. Foram detetadas, por exemplo, deformações com diversos blocos de betão levantados nas caldeiras das árvores em frente ao Colégio Dom Diogo de Sousa, na rua Conselheiro Bento Miguel (Figura 31).

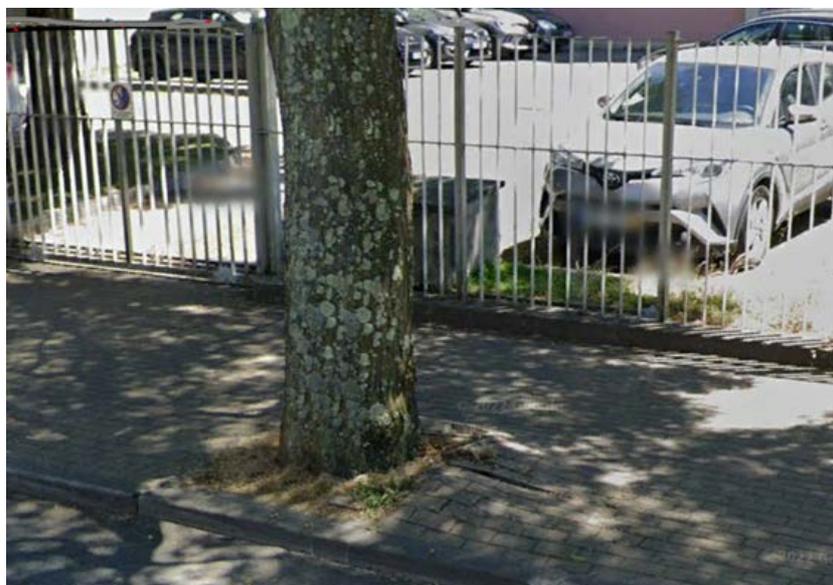


Figura 31 – Blocos de betão levantados nas caldeiras das árvores na rua Conselheiro Bento Miguel, em Braga (Google Maps, 2023)

Ao longo do percurso também foi visível o fendilhamento em materiais aplicados de forma contínua. De facto, a superfície da maioria dos passeios em argamassa está bastante fendilhada (Figura 32).



Figura 32 – Argamassa fendilhada na rua Conselheiro Januário, em Braga

Outras desagregações como, por exemplo, falta de pavimento, blocos soltos e buracos foram identificadas pontualmente ao longo de todo o percurso (Figura 33). Em alguns locais notou-se que foram utilizados materiais de pavimentação diferentes na reparação dos pavimentos originais.



Figura 33 – Desagregação de materiais na rua Conselheiro Januário, em Braga (à esquerda) e falta de pavimentação na rua do Taxa, em Braga (à direita)

Noutros locais ao longo do percurso foi possível observar uma elevada degradação dos passeios, com ausência total de pavimentação em alguns casos (Figura 34).



Figura 34 – Desagregação dos materiais de pavimentação na rua do Taxa, em Braga

Em alguns locais ao longo do percurso a largura do passeio era inferior a 1,5 m. Os passeios apresentaram uma largura mais reduzida na rua Conselheiro Januário e na rua do Taxa (Figura 35), o que dificultou a circulação com o carrinho de bebé. Além disso, alguns obstáculos presentes nesses passeios (por exemplo, postes de iluminação), ainda diminuem a largura útil de circulação pedonal.



Figura 35 – Passeios estreitos na rua Conselheiro Januário (à esquerda) (Google Maps) e com obstáculos na rua do Taxa (à direita)

#### 4.2. Resultados dos ensaios aos pavimentos dos passeios (análise objetiva)

Nesta seção são apresentados os resultados dos ensaios aos pavimentos dos passeios para os diversos parâmetros considerados. Os resultados vão ser analisados para mostrar o diferente desempenho nos vários parâmetros em estudo, de acordo com o tipo de pavimento e estado de conservação.

Apesar do percurso escolhido incluir travessias com e sem passadeiras, bem como uma passagem superior, estas infraestruturas pedonais não foram analisadas, porque o objetivo principal deste trabalho foi o de analisar os pavimentos e as características gerais dos passeios. Contudo, convém referir que os passeios, travessias e as passagens superiores são infraestruturas pedonais que, apesar de terem características e funções diferentes, formam, no seu conjunto, a rede pedonal.

Na Figura 36 é possível observar os diferentes tipos de pavimentos identificados ao longo do percurso pedonal estudado e a sua extensão total determinada no sistema de aquisição de dados do carrinho.

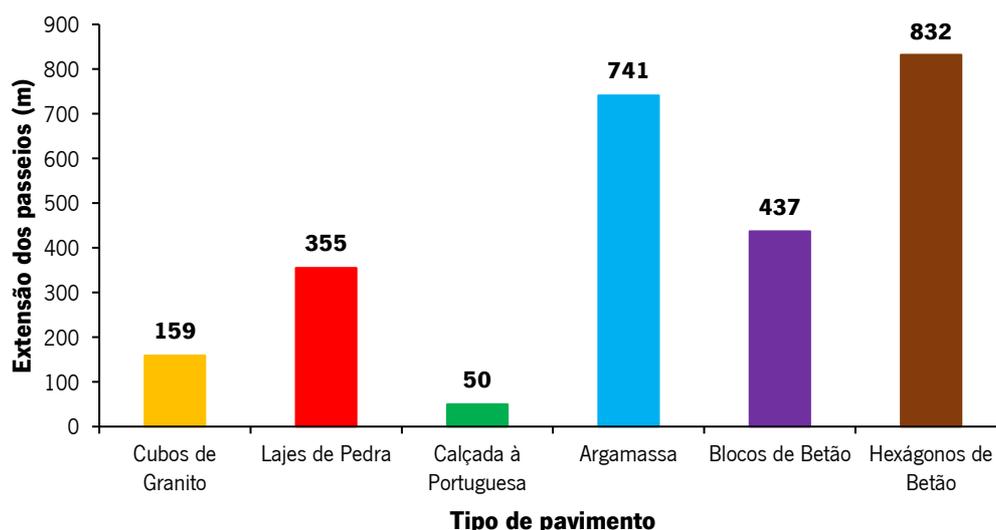


Figura 36 – Extensão em função do tipo de pavimento existente nos passeios do percurso pedonal em estudo

O tipo de pavimento que predomina ao longo do percurso são os hexágonos de betão, com uma extensão de 832 m, seguindo-se os pavimentos em argamassa com cerca de 741 m. De seguida surgem os blocos de betão e as lajes de pedra, com 437 m e 355 m, respetivamente. Os pavimentos com menor extensão ao longo do percurso pedonal são a calçada à Portuguesa e os cubos de granito, respetivamente com 50 m e 159 m.

A utilização do sistema de aquisição de dados instalado no carrinho de bebé permitiu ainda identificar a distribuição dos vários tipos de pavimentos utilizados nos passeios ao longo de todo o percurso, desde o

CCTB até à Universidade do Minho, e localizar os sete pontos onde foram realizados os ensaios pontuais, tal como se pode observar na Figura 37.

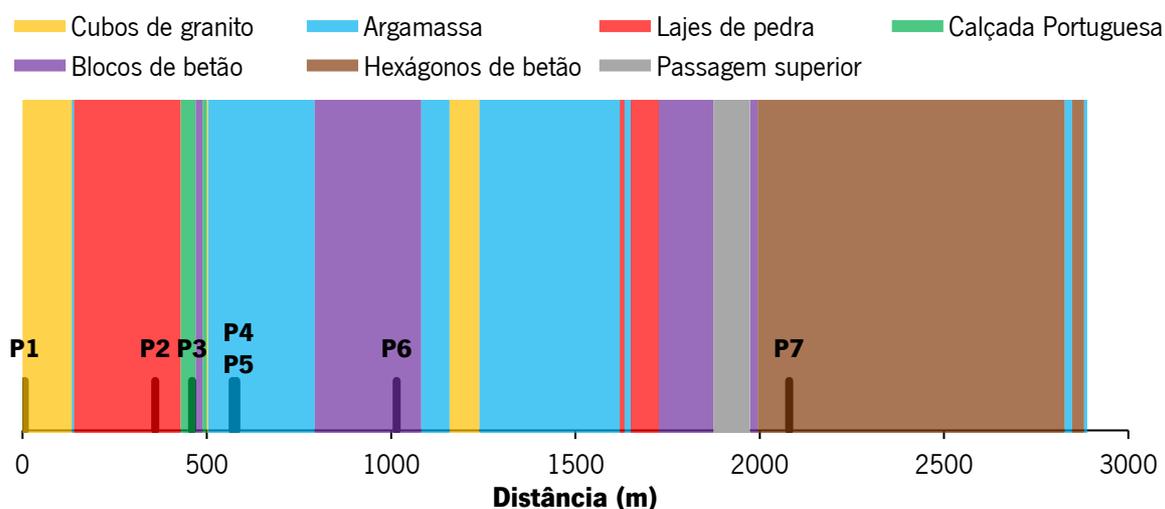


Figura 37 – Distribuição dos vários tipos de pavimento dos passeios ao longo do percurso em estudo e identificação dos sete locais de análise pontual

A distribuição dos diferentes tipos de pavimentos ao longo percurso pedonal em estudo demonstra uma grande variabilidade das soluções escolhidas para pavimentar os passeios, muitas vezes com pequenas extensões a intercalarem-se sucessivamente ao longo do percurso. Esta situação resulta de os passeios serem construídos em diferentes fases de crescimento urbano, em função das soluções apresentadas pelos empreendimentos construídos ao longo dos anos, originando uma grande heterogeneidade de soluções que não foram projetadas a pensar nos percursos pedonais como um todo que deve funcionar de forma contínua e mais uniforme. A principal exceção a esta regra é a rua Nova de Santa Cruz, na parte final do percurso, que foi intervencionada recentemente na sua totalidade, conseguindo assim manter uma solução uniforme de pavimentação do passeio (hexágonos de betão).

Os sete pontos seleccionados para realização dos ensaios pontuais aos diferentes tipos de pavimentos situam-se maioritariamente na parte inicial do percurso, onde há maior variabilidade dos mesmos. Os resultados desses ensaios são apresentados em seguida.

#### 4.2.1. Irregularidade

Inicialmente procedeu-se à análise dos resultados de irregularidade que resultaram dos ensaios com a régua de 3 metros para avaliação da superfície dos pavimentos nos sete locais seleccionados. A Figura 38 apresenta exemplos dos perfis que foram obtidos em cada um dos pontos nesse ensaio.

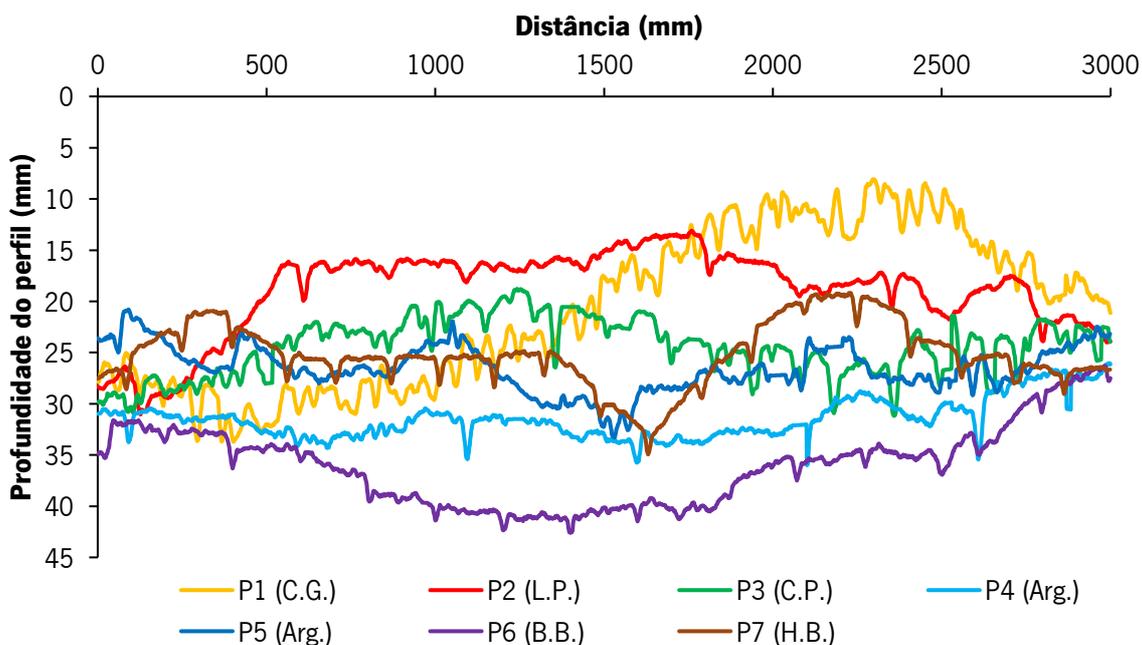


Figura 38 – Perfis obtidos com a régua de 3 metros para determinação da irregularidade dos passeios nos sete pontos em análise

A análise destes resultados mostra que os perfis da superfície do passeio apresentam dois tipos de variações em relação a um perfil teórico de referência, que contribuem de forma diferente para a irregularidade do pavimento: (1) variação de maior comprimento de onda, que resulta de grandes deformações nos passeios ou no nivelamento dos blocos do pavimento, e; (2) variação de menor comprimento de onda que resulta da irregularidade superficial das pedras, blocos ou argamassa, ou das suas juntas, e que origina vibração ao circular com uma cadeira de rodas ou um carrinho de bebé, e também pode causar desconforto ao peão ao criar pontos de maior pressão entre a sola com o passeio.

Nos perfis apresentados anteriormente é possível verificar que os pontos P1, P2 e P6 apresentam deformações significativas de grande comprimento de onda em relação a um perfil teórico de referência linear. Os pontos P3 e P7 também têm elevadas deformações de grande comprimento de onda. Os passeios em argamassa (P4 e P5) apresentam um perfil com menos deformações de elevado comprimento de onda. Com base na análise destes pontos, depreende-se que os pavimentos em cubos e lajes de pedra ou em blocos de betão, que têm diversas juntas, podem ser mais suscetíveis de sofrer grandes deformações que aumentam a irregularidade do passeio.

Relativamente à irregularidade de menor comprimento de onda, os pontos P1 e P3 (cubos de granito e calçada à Portuguesa) têm maior irregularidade relativamente aos restantes perfis, ou seja, uma maior variação imediata da altura do perfil ao longo do percurso de 3 metros. Os pontos P2, P5 e P7 também

têm bastante irregularidade de reduzidos comprimento de onda. Os pontos P4 (argamassa) e P6 (blocos de betão) apresentam menor irregularidade de reduzido comprimento de onda, visto que a superfície destes materiais tem uma reduzida variação da altura do perfil fora da zona das juntas ou sulcos feitos na argamassa (que tem um padrão quadrado). De referir que a maior irregularidade superficial da argamassa no ponto P5, por comparação com o ponto P4, resulta do seu maior estado de desagregação.

Para uma quantificação da irregularidade da superfície dos pavimentos em cada ponto, aplicou-se a Equação 1 apresentada anteriormente, que determina o somatório dos desvios verticais ( $y$ ) do perfil medido em relação a um perfil teórico de referência por unidade horizontal de percurso ( $L$ ). Nesse sentido, e de acordo com a Figura 39, foi inicialmente utilizado um perfil teórico de ajuste linear para ter em consideração as todas irregularidades de cada perfil (grande e pequeno comprimento de onda). Em seguida, utilizou-se um perfil teórico de ajuste de Gauss, de 3º grau, que elimina as grandes deformações e permite quantificar apenas as irregularidades de pequeno comprimento de onda. Estes ajustes foram efetuados com apoio do software Matlab, que determina os desvios verticais entre o perfil medido e o perfil teórico de ajuste (*residuals plot*, no exemplo da Figura 39).

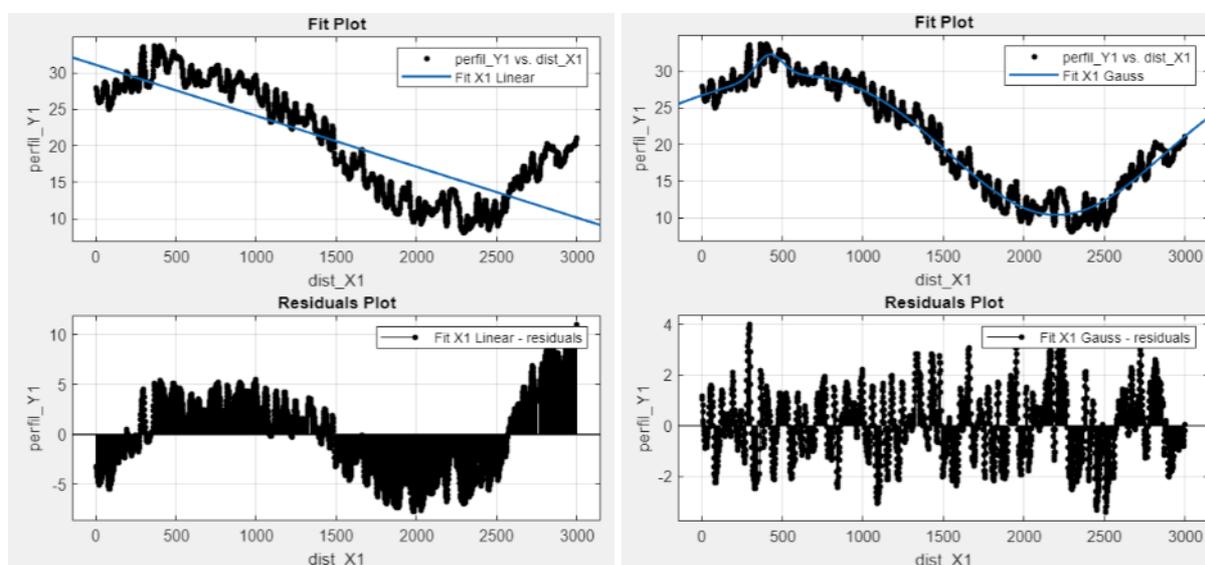


Figura 39 – Método utilizado para determinar a irregularidade média dos passeios para um perfil teórico de ajuste linear (à esquerda) ou de Gauss, de 3º grau (à direita)

Ao efetuar os cálculos referidos para os vários perfis obtidos com a régua de três metros, nos sete locais em estudo, foi possível obter valores médios de irregularidade total (ajuste linear) e de pequeno comprimento de onda (ajuste de Gauss) para comparar os vários tipos de pavimento (Figura 40). É importante referir que estes valores não correspondem ao IRI, que é obtido por outros meios.

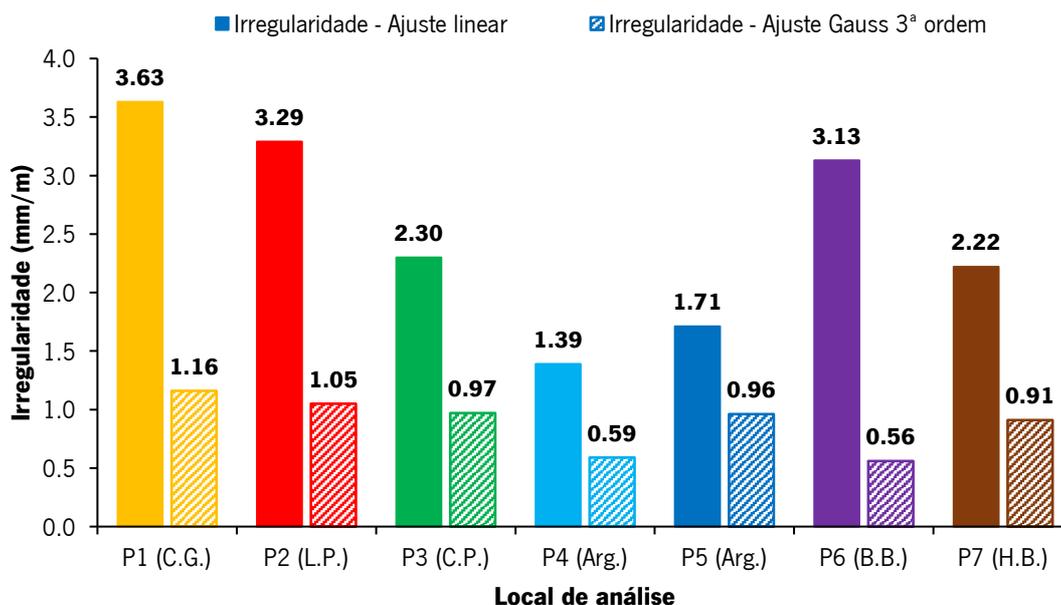


Figura 40 – Irregularidade média dos passeios nos pontos em análise considerando os desvios em relação a um ajuste teórico linear ou de Gauss, de 3º grau

Os resultados de irregularidade confirmam as observações anteriores. Os dois locais com passeios em argamassa (pontos P4 e P5) apresentam os menores valores de irregularidade quando também se consideram as deformações com maior comprimento de onda, enquanto o ponto P1 (cubos de granito) apresentou a maior irregularidade.

Quando se considera apenas a irregularidade com menor comprimento de onda, recorrendo ao ajuste de Gauss, os pontos P1 (cubos de granito), P2 (lajes de pedra) e P3 (calçada à Portuguesa) são os mais irregulares e desconfortáveis, em especial para quem circule em cadeira de rodas ou com um carrinho de bebé. Os pontos P4 (argamassa) e P6 (blocos de betão) têm pavimentos mais regulares, originando menores vibrações e desconforto. O ponto P4 e P5 são ambos em argamassa, mas a irregularidade do ponto P5 é superior devido ao estado de degradação mais avançado em que este se encontra.

Como a irregularidade dos passeios é um parâmetro de caracterização que pode variar ao longo do percurso, mesmo quando se mantém o tipo de pavimento, procurou avaliar-se esta propriedade de forma contínua e indireta com um acelerómetro instalado num carrinho de bebé. Por princípio, os locais que registam maiores acelerações são mais irregulares, o que causa vibrações (movimentos verticais) no carrinho que são detetadas pelo acelerómetro. Em seguida, na Figura 41, apresentam-se os valores de aceleração vertical medidos com o acelerómetro instalado no carrinho de bebé ao longo de todo o percurso, juntamente com a identificação dos vários tipos de pavimento e dos sete locais de ensaio.

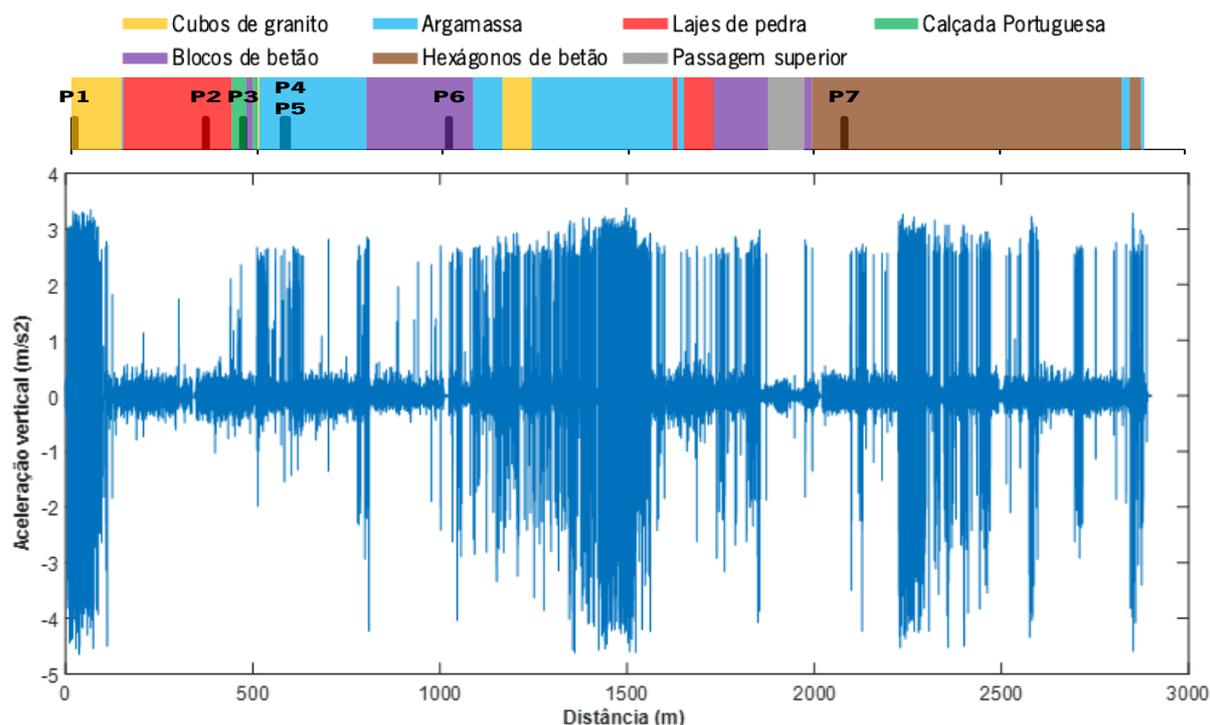


Figura 41 – Valores de aceleração medidos com o acelerómetro instalado no carrinho de bebé ao longo de todo o percurso e identificação dos vários tipos de pavimento

Em geral, verifica-se que existem grandes flutuações nos valores da aceleração mesmo quando se circula no mesmo tipo de pavimento em determinado passeio, o que depende muito da forma como o passeio foi construído e do seu estado de conservação. Por exemplo, os passeios em argamassa e em blocos ou hexágonos de betão apresentam valores muito diferenciados de aceleração vertical em diferentes zonas do percurso. Assim, considera-se que a utilização dos valores do acelerómetro pode ser muito interessante para confirmar quais os passeios mais irregulares e que causam um maior desconforto aos peões, independentemente do tipo de superfície utilizada.

No entanto, também é possível observar que os passeios os cubos de granito têm sempre elevados valores de aceleração vertical, o que é consistente com a medição pontual de irregularidade efetuada com a régua de 3 metros. Assim, deve evitar-se a utilização deste tipo de solução construtiva em passeios com maior afluência de peões ou onde se preveja a sua utilização por peões em cadeira de rodas. Por outro lado, os passeios em lajes de pedra têm normalmente baixos valores de aceleração vertical (ou seja, são regulares), o que pode significar que o resultado pontual obtido com a régua de 3 metros não é o mais representativo deste tipo de pavimento. A correspondência entre os valores de irregularidade determinados nos sete locais pontuais e as acelerações verticais medidas próximo desses locais também é difícil de confirmar, devido à variabilidade dos resultados medidos com o acelerómetro.

#### 4.2.2. Atrito

Na Figura 42 é possível observar o gráfico com os resultados do método do pêndulo Britânico nos sete pontos selecionados, para medição do atrito (resistência ao deslizamento) da superfície do pavimento em condições molhadas. As leituras obtidas na escala graduada do pêndulo Britânico correspondem ao valor de *PTV*, sendo que os valores representados no gráfico correspondem à média de cinco medições efetuadas num único ponto no mesmo local, em cada um dos sete pontos de ensaio.

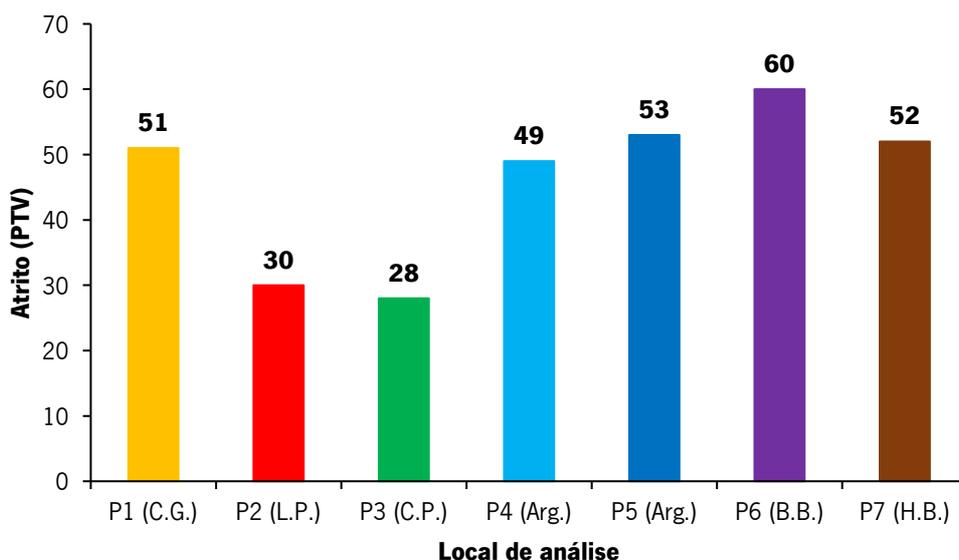


Figura 42 – Resultados do ensaio do pêndulo Britânico nos sete pontos selecionados

O ponto P6, em blocos de betão, apresenta o valor de *PTV* mais alto (60), sendo por isso o local que representa um menor risco de escorregamento para os peões que circulam neste pavimento. De acordo com a Tabela 4, apresentada na revisão bibliográfica, os passeios com baixo risco de escorregamento para os peões devem ter valores de *PTV* superiores a 36. Nesse sentido, os pontos P5 (argamassa mais degradada), P7 (hexágonos de betão), P1 (cubos de granito) e P4 (argamassa) têm todos baixo risco de escorregamento, respetivamente com valores de *PTV* iguais a 53, 52, 51 e 49.

Por outro lado, os pontos com o coeficiente de atrito mais baixo são os pontos P2 (lajes de pedra) e P3 (calçada à Portuguesa), com valores de *PTV* iguais a 30 e 28, que correspondem a um moderado risco de escorregamento. Em conclusão, a superfície mais lisa dos passeios em lajes de pedra e em calçada à Portuguesa representam um maior risco para os peões em termos de escorregadelas e derrapagens, em especial em tempo de chuva, o que pode colocar em causa a segurança e o conforto dos peões que circulam nestes locais.

### 4.2.3. Textura

A título de exemplo dos resultados de textura obtidos nos sete pontos em análise, a Figura 43 apresenta o levantamento dos perfis do pavimento no ponto P4 (argamassa), numa área com 30 cm<sup>2</sup>, e os dezasseis perfis obtidos para determinação dos parâmetros que quantificam a textura (MPD e ETD).

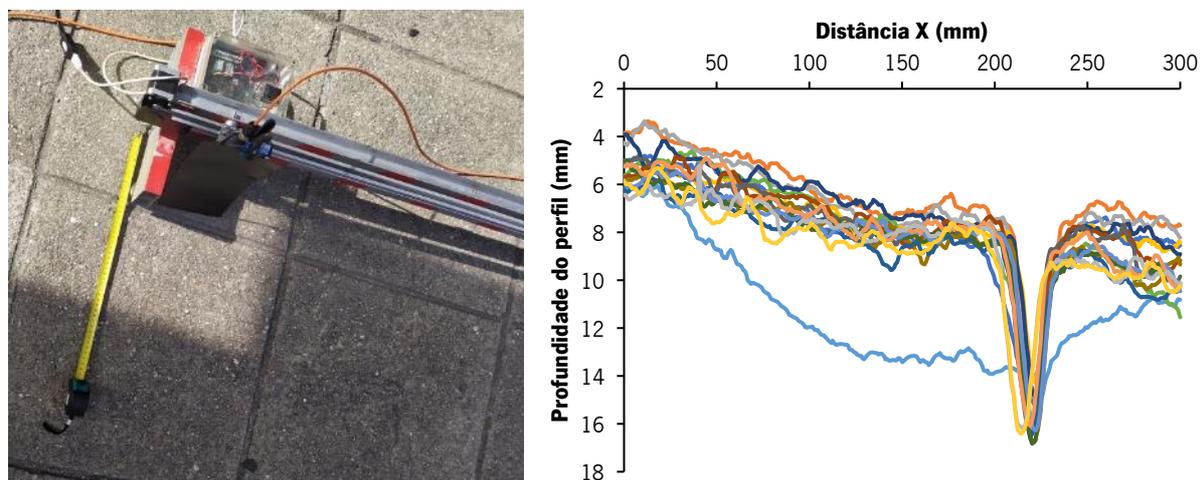


Figura 43 – Levantamento de perfis com a régua de 3 metros (esquerda) e gráfico dos dezasseis perfis obtidos (direita) para cálculo do MPD do pavimento em argamassa no ponto P4

A partir dos vários perfis, que foram levantados com um espaçamento de 2 cm entre si, foi possível obter a superfície 3D correspondente ao pavimento em argamassa existente no ponto P4 (Figura 44). O gráfico 3D foi obtido no software MatLab demonstra a boa qualidade do levantamento realizado.

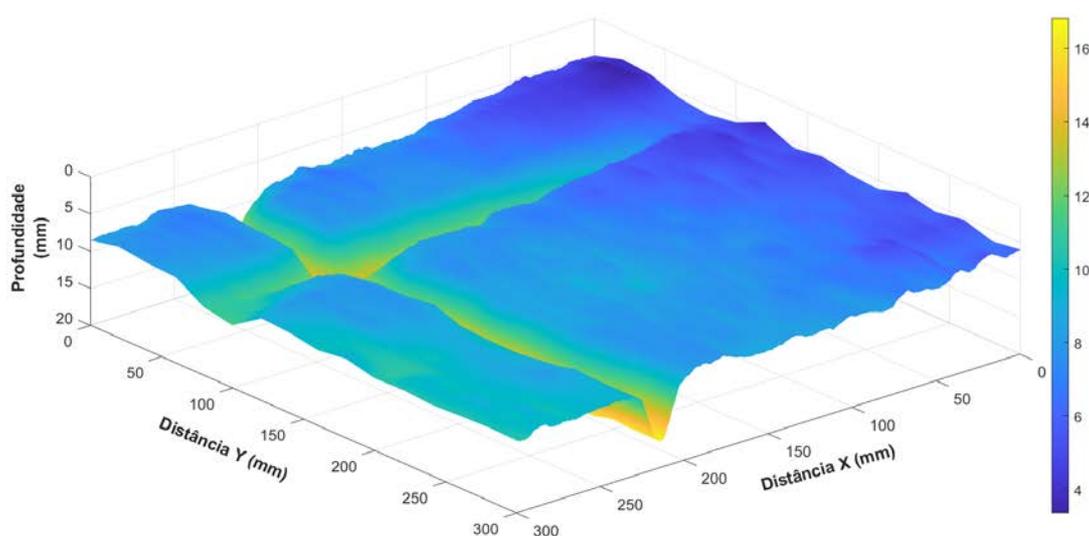


Figura 44 – Exemplo da superfície em 3D que resultou dos dezasseis perfis do pavimento em argamassa levantados no ponto P4

Os dados recolhidos nos sete pontos em estudo foram posteriormente trabalhados, recorrendo às Equações 2 e 3, de modo a serem obtidos os resultados que permitem quantificar a textura dos pavimentos (Figura 45). Inicialmente determinou-se a profundidade média do perfil (MPD), valor esse que permitiu em seguida estimar a profundidade da textura da superfície (ETD).

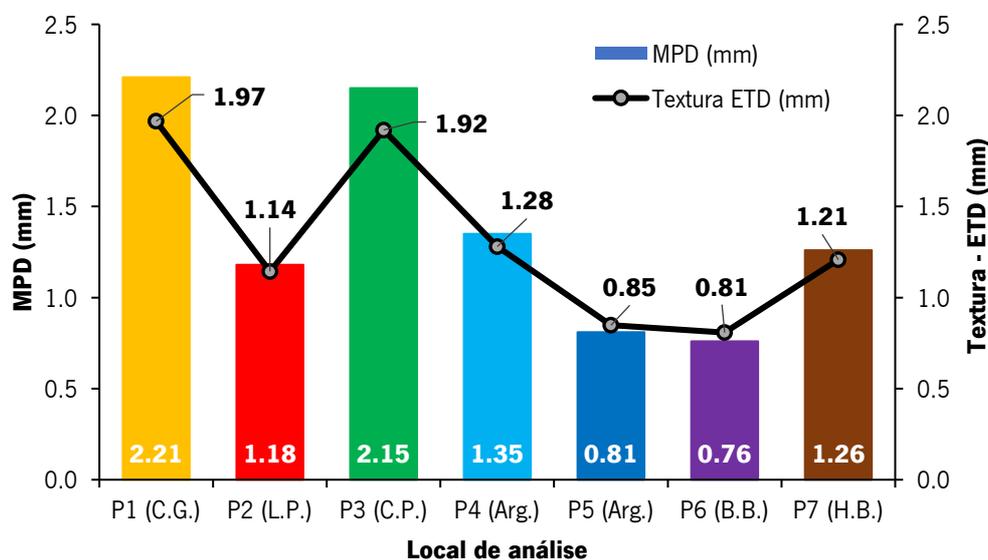


Figura 45 – Textura (MPD e ETD) dos pavimentos nos sete pontos em estudo

Os pontos P1 (cubos de granito) e P3 (calçada à Portuguesa) destacaram-se com os valores mais altos de profundidade de textura estimada (ETD), respetivamente 1,97 mm e 1,92 mm. Em seguida, surgem os pontos P4 (argamassa), P7 (hexágonos de betão) e P2 (lajes de pedra), respetivamente com valores de ETD iguais a 1,28 mm, 1,21 mm e 1,14 mm. De referir que estes valores intermédios resultaram da existência de juntas/sulcos de maior abertura nos locais em análise, que neste trabalho também foram considerados no cálculo do MPD. Os pontos com ETD mais baixo foram os pontos P5 (argamassa degradada) e P6 (blocos de betão), respetivamente com valores de ETD de 0,85 mm e 0,81 mm, neste caso devido à menor abertura das juntas/sulcos nestes pontos.

Concluindo, os cubos de granito e a calçada à Portuguesa apresentam textura mais elevada, por serem pavimentos em cubos de pedra pequenos e pouco regulares que apresentam um maior número de juntas. Pelo mesmo motivo, verificou-se anteriormente que a superfície destes passeios era mais irregular e desconfortável, embora a sua maior textura facilite a drenagem superficial. No entanto, mesmo facilitando a drenagem da chuva, a calçada à Portuguesa apresentou um maior risco de escorregamento devido à superfície bastante polida dos cubos de calcário. Em geral observa-se que todos os pavimentos apresentaram valores de textura adequados para a sua utilização em passeios.

## 4.2.4. Conforto térmico

A Figura 46, apresenta os dados da temperatura registada através do termómetro de infravermelhos (pistola de temperatura) direcionada para o pavimento nos sete pontos estudados. Os sete pontos estavam expostos ao sol, para que as condições fossem idênticas em todos eles. Em simultâneo, também se apresentam os valores de albedo medidos em cada um desses locais, para compreender se existe uma correlação entre esses dois parâmetros.

De salientar que a temperatura nos pontos P1 a P5 foi registada no dia 5 de abril de 2023, da parte da tarde, em condições de céu limpo (sol). A temperatura nos pontos P6 e P7 foi registada no dia 6 de abril de 2023, no início da tarde, também em condições de céu limpo. No dia 5 de abril, a temperatura máxima registada na estação meteorológica de Braga foi de 25 °C, a temperatura média foi de 14,7 °C e a temperatura mínima foi de 3,6 °C. No dia 6 de abril, os valores máximos, médios e mínimos de temperatura em Braga foram respetivamente de 27,8 °C, 16,1 °C e 4,2 °C (IPMA, 2023).

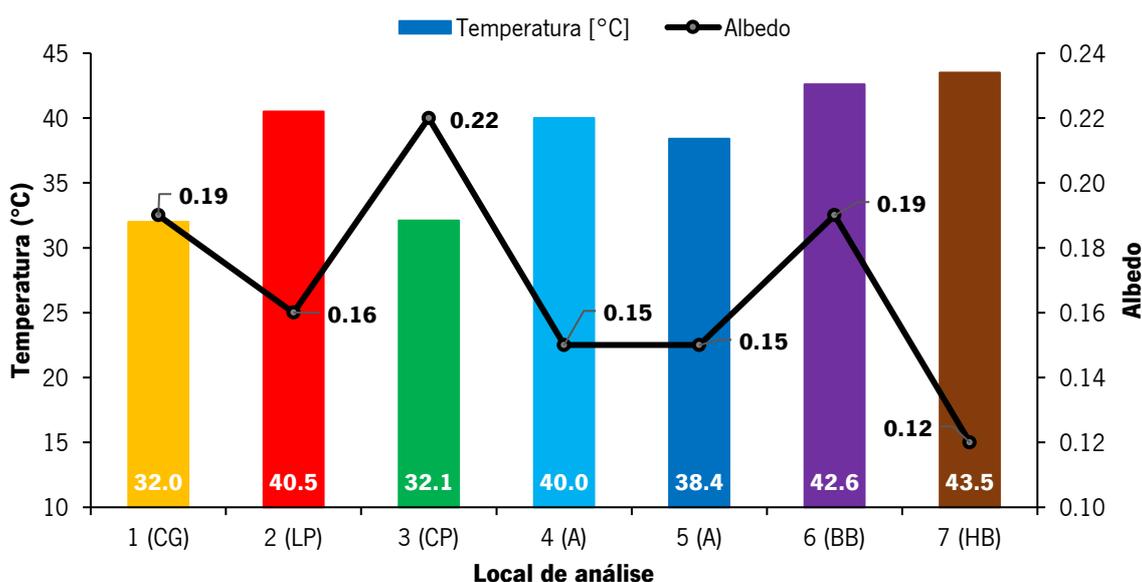


Figura 46 – Dados das temperaturas e do albedo registados nos sete pontos

O local com maior temperatura superficial registada na pistola de temperatura foi o ponto P7 (hexágonos de betão), com 43,5 °C. Em seguida surgem os pontos P6 (blocos de betão) e P2 (lajes de pedra), respetivamente com 42,6 °C e 40,5 °C. Os pontos P4 e P5 (argamassa) apresentaram temperaturas ligeiramente inferiores de 40,0 °C e 38,4 °C. Os pavimentos que registaram as menores temperaturas superficiais foram os cubos de granito (P1) e a calçada à Portuguesa (P3), respetivamente iguais a 32 °C e 32,1 °C. As menores temperaturas superficiais dos cubos de granito e da calçada à Portuguesa

sugerem que a existência de um maior número de juntas entre os cubos deve facilitar a perda de energia térmica por convecção, aumentando o conforto térmico dos peões. Além disso, a cor clara da calçada à Portuguesa origina uma maior reflexão da radiação solar, confirmada pelo valor mais elevado de albedo, o que também contribui para diminuir a temperatura superficial deste tipo de pavimento. Por outro lado, as temperaturas superficiais mais elevadas nos pontos P6 e P7 devem ter resultado da maior temperatura ambiente registada no dia 6 de abril. A cor mais escura (menores valores de albedo) das lajes de pedra (P2) e dos hexágonos de betão (P7) também justifica as temperaturas mais altas destes pavimentos. De destacar ainda que as temperaturas medidas nos pavimentos mais quentes ultrapassam a temperatura máxima do ar medida em Braga nesse dia em cerca de 15 °C, o que mostra a influência que os pavimentos podem ter no desconforto térmico sentido pelos peões nos dias de maior calor.

A Figura 47 representa os valores da temperatura dos passeios ao longo de todo o percurso, que foram obtidos através do sensor de temperatura infravermelho instalado no carrinho de bebé. Este registo contínuo procurou compreender de forma abrangente as variações das temperaturas de superfície em todo o percurso, incluindo zonas ao sol ou sombra, tal como é percecionado pelos peões. A temperatura do pavimento de todo o percurso foi registada no dia 21 de março de 2023, da parte da tarde, em condições de céu limpo (sol). Nesse dia, a estação meteorológica de Braga registou temperaturas máxima, média e mínima de, respetivamente, 20,1 °C, 12,6 °C e 7,4 °C (IPMA, 2023).

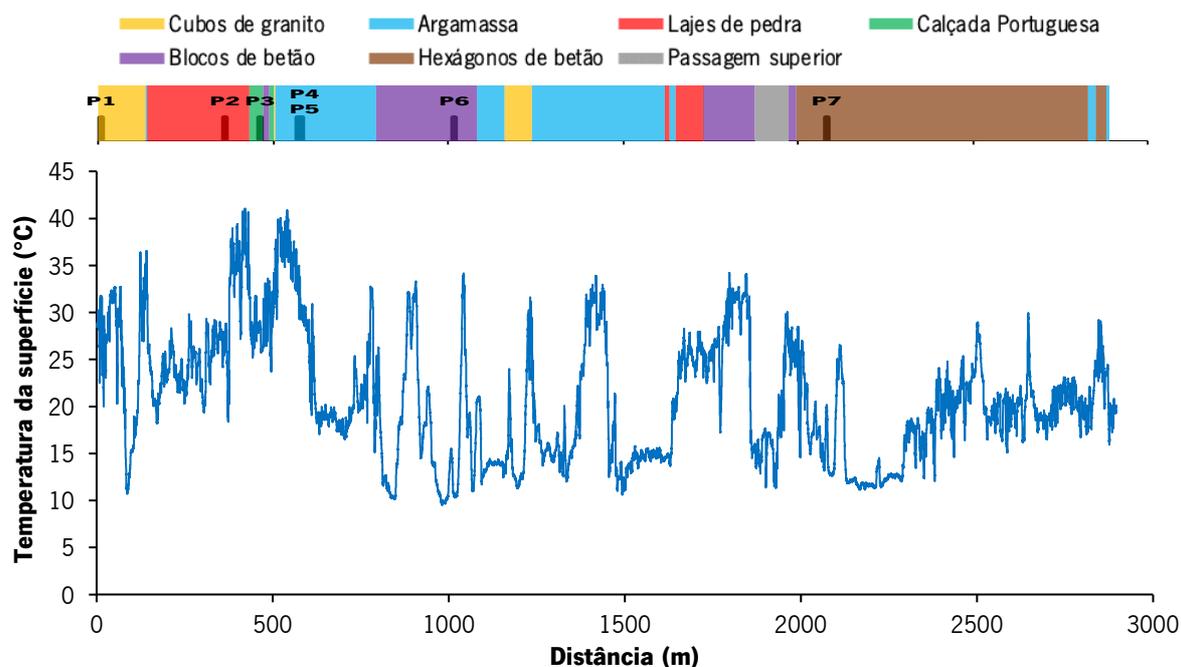


Figura 47 – Temperatura registada na superfície do passeio ao longo de todo o percurso e indicação dos tipos de pavimento e dos sete pontos onde foram realizados ensaios

As temperaturas registadas nos pavimentos de forma contínua mostraram uma grande flutuação, dado que, no espaço de algumas dezenas de metros, variaram até 20 °C, mesmo sem existir nenhuma mudança no tipo de pavimento. Contudo, existem muitos fatores que influenciam estas diferenças de temperaturas, como por exemplo, a insolação direta, vento, sombreamento, direção da rua, largura da rua, cor dos pavimentos, entre outros. As temperaturas médias e máximas do ar registadas no dia 21 de março de 2023 foram bastante inferiores às registadas nos dias 5 e 6 de abril, aquando do levantamento feito com a pistola de temperatura nos sete pontos de estudo, o que justifica a menores temperaturas observadas em geral nos pavimentos aquando do registo feito de forma contínua.

Os resultados revelam ainda que as temperaturas registadas nos pavimentos pelo sensor de temperatura instalado no carrinho de bebé foram, em regra, mais elevadas que as temperaturas máximas do ar. Este desempenho reflete a absorção da radiação solar pelos diferentes tipos de pavimentos ao nível do solo, que origina o efeito de ilha de calor urbano que se deve procurar minimizar (por exemplo, através da utilização de mais vegetação nas vias urbanas). No registo contínuo de temperaturas não é evidente uma correspondência entre o tipo de pavimento do passeio e a ocorrência de maiores ou menores temperaturas, até porque outros efeitos (por exemplo, o sombreamento) demonstram ter um efeito mais significativo no conforto térmico. No entanto, aparentemente há uma redução da temperatura medida em contínuo na calçada à Portuguesa e um aumento geral da temperatura nas lajes de pedra em relação às zonas envolventes.

Por último, recorreu-se às imagens obtidas com a câmara termográfica para compreender se as mesmas confirmam que determinados fatores têm influência direta na temperatura dos pavimentos, tais como a cor do pavimento (Figura 48), o efeito do sombreamento (Figura 49) e a perda de temperatura por convecção nas juntas dos blocos de pedra ou betão (Figura 50).

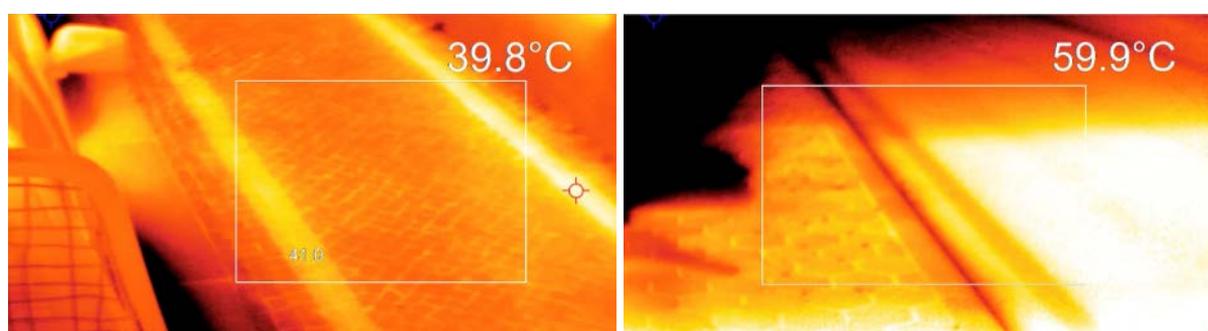


Figura 48 – Imagens térmicas da calçada à Portuguesa (esquerda) e da transição do passeio para o pavimento betuminoso (direita) que mostram o efeito da cor na temperatura registada nos passeios

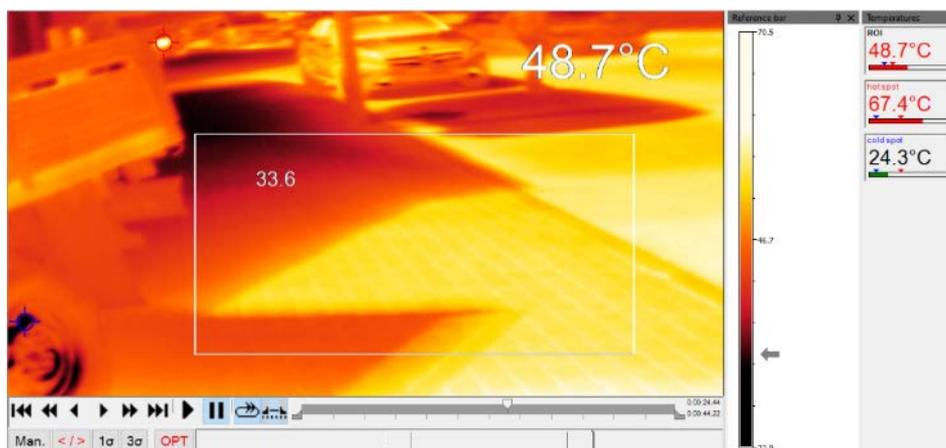


Figura 49 – Imagem térmica de um pavimento em blocos de betão numa zona de transição sol/sombra, que mostra o efeito do sombreamento na temperatura registada nos passeios

Na calçada à Portuguesa, verifica-se que a temperatura dos blocos de pedra escuros é mais elevada (47 °C) do que a generalidade do passeio mais claro em blocos calcários (40 °C). Já a temperatura média do passeio em hexágonos (60 °C) é inferior à temperatura de 68 °C atingida pelo pavimento betuminoso mais escuro exposto ao sol. As duas imagens confirmam o efeito significativo da cor na temperatura do pavimento.

Tal como se referiu anteriormente, a imagem térmica confirma que o sombreamento dos passeios tem um efeito significativo na variação da temperatura superficial dos pavimentos, sendo possível confirmar uma variação entre 15 °C e 20 °C entre as zonas ao sol e à sombra.

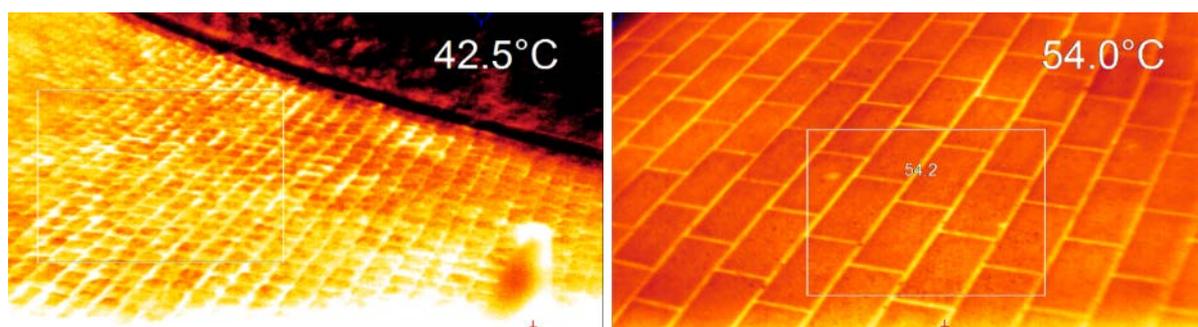


Figura 50 – Imagens térmicas de pavimentos em blocos pedra (esquerda) e de betão (direita) que mostram a perda de temperatura por convecção na zona das juntas

Por último, a imagem térmica dos pavimentos em blocos de pedra e betão mostra que a temperatura na zona das juntas é sempre ligeiramente mais alta do que nos blocos (pelo menos 1 °C), confirmando a perda de calor destes passeios por convecção na zona das juntas.

#### 4.2.5. Albedo

Na Figura 51 é possível observar o gráfico com os resultados do albedo nos sete pontos selecionados para realizar este ensaio ao longo do percurso. As leituras dos pontos P1 a P5 foram efetuadas no dia 5 de abril de 2023, enquanto as leituras dos pontos P6 e P7 foram recolhidas no dia seguinte, 6 de abril de 2023. Devido à sua natureza adimensional, os valores de albedo obtidos neste trabalho são expressos em percentagem.

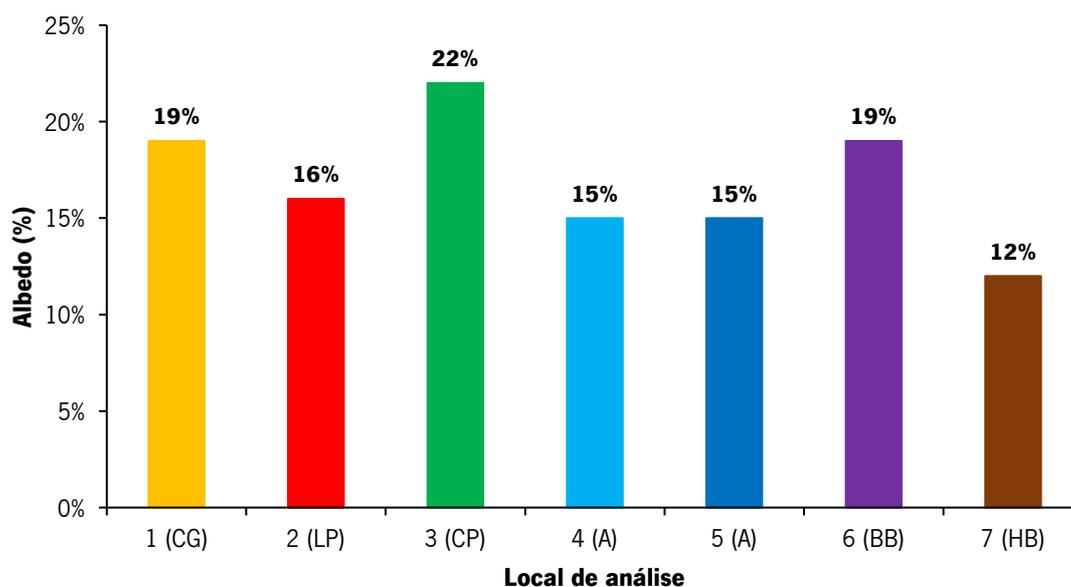


Figura 51 – Gráfico com os resultados do albedo nos sete locais pontuais

Como podemos observar, o valor mais elevado de albedo foi identificado no ponto P3, ou seja, num pavimento com calçada à Portuguesa. De acordo com o resultado obtido, 22% da radiação solar que atinge a superfície naquele ponto é refletida, enquanto 78% é absorvida. Isto pode dever-se ao facto de a calçada à Portuguesa ser um pavimento com uma cor clara, que reflete mais radiação solar do que os pavimentos mais escuros. Um aspeto menos positivo pode ser o desconforto visual (encadeamento) que surge associado aos pavimentos claros, que são mais refletores da luz solar.

Os restantes valores mais elevados de albedo foram obtidos nos pontos P1 (cubos de granito) e P6 (blocos de betão). Nestes pavimentos, 19% da radiação que atinge a superfície é refletida, enquanto 81% é absorvida. De referir que apesar dos cubos de granito serem relativamente escuros, têm na sua constituição minerais claros, que acabam por aumentar a sua reflectância. Os valores intermédios de albedo foram medidos nos pontos P2 (lajes de pedra), P4 e P5 (ambos em argamassa), com valores de reflexão entre 15% e 16%. O menor valor de albedo foi detetado no ponto P7 (hexágonos de betão), onde

apenas 12% da radiação solar é refletida. Tal como se referiu anteriormente, o valor mais alto de temperatura registado no termómetro de infravermelhos (43,5 °C) ocorreu precisamente no ponto P7, onde o albedo é mais baixo.

Em conclusão, os pavimentos mais escuros absorvem mais radiação solar do que os pavimentos claros. Assim, para além da influência no conforto visual, este parâmetro também exerce uma grande influência no conforto térmico ao nível dos passeios. De referir ainda que todos os pavimentos estudados neste trabalho contribuem para a retenção de calor nas cidades, visto que os valores de albedo registados foram sempre inferiores o valor médio do albedo na Terra, que é cerca de 37% (Moura, 2020).

### 4.3. Resultados dos inquéritos (análise subjetiva)

De seguida vão ser analisados os resultados dos inquéritos, salientando de que forma corroboram ou não os resultados obtidos com a análise objetiva.

#### 4.3.1. Caracterização dos inquiridos

O questionário foi feito de forma presencial ao longo do percurso selecionado, tendo-se obtido um total de 70 respostas válidas. As principais características dos inquiridos surgem na Tabela 6. Assim, do total dos 70 inquiridos, 47 foram indivíduos do sexo feminino e 23 do sexo masculino. Relativamente à idade, 15 dos inquiridos foram jovens-adultos com idade inferior a 24 anos, 41 foram adultos dos 25 aos 64 anos e 14 inquiridos foram idosos com mais de 65 anos.

Tabela 6 – Género e idade dos inquiridos

Nº total de inquiridos	Género		Classe etária		
	Feminino	Masculino	< 24	25-64	> 65
70	47	23	15	41	14

Na Tabela 7 é possível verificar que dos 70 inquiridos só uma pessoa tinha deficiência motora e deslocava-se de cadeira de rodas. Além desse inquirido, 3 dos inquiridos precisavam de apoio (canadianas e bengalas) para se deslocarem a pé. Relativamente à origem dos inquiridos, 51 eram residentes na cidade de Braga, 7 eram pendulares (deslocam-se para a cidade todos os dias) e 12 eram turistas ou visitantes.

Tabela 7 – Incapacidade e origem dos inquiridos

Incapacidade		Origem		
Com incapacidade	Sem incapacidade	Residente	Pendular	Turista/Visitante
3	67	51	7	12

#### 4.3.2. Utilização do modo pedonal como modo de transporte e hábitos de andar a pé

As principais conclusões sobre a utilização do modo pedonal como modo de transporte e os hábitos de andar a pé dos inquiridos surgem na Figura 52.

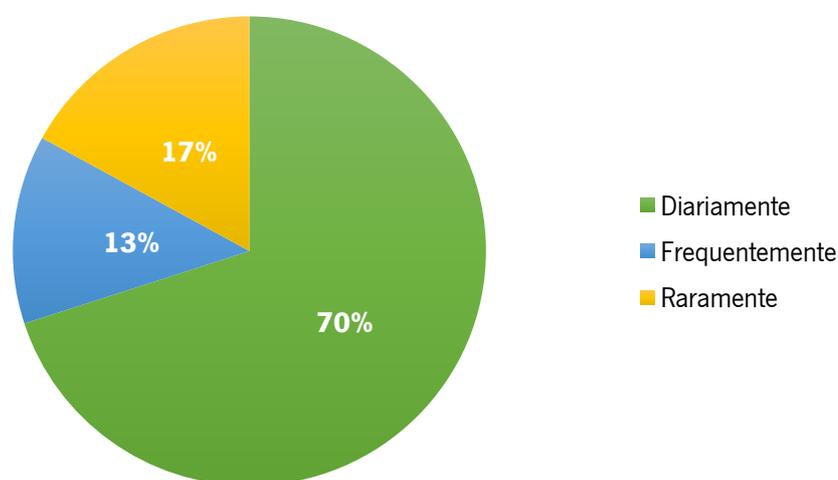


Figura 52 – Regularidade com que os inquiridos andam a pé como forma de transporte

O inquérito permitiu verificar que dos 70 inquiridos, 49 (70%) utilizam o modo pedonal para realizar tarefas do quotidiano, como ir às compras ou para o trabalho. Uma percentagem bastante inferior (13%) utiliza o modo pedonal como modo de transporte de forma frequente (mais do que 3 dias por semana) para satisfazer necessidades pessoais, porém não o fazem de forma diária. Por último, foi possível apurar que 17% dos inquiridos não utiliza o modo pedonal como forma de transporte. No entanto, é de ressaltar que destes, apenas dois inquiridos revelaram que não se deslocam a pé por questões relacionadas com os pavimentos e com o seu estado de conservação. Assim, para a população envolvida no inquérito, foi possível concluir que as condições dos pavimentos e o seu estado de conservação não são uma barreira para a utilização do modo pedonal. A distância a percorrer e a falta de tempo para fazer os percursos quotidianos a pé foram os principais motivos apontados para a uma utilização mais regular do modo pedonal.

#### 4.3.3. Avaliação geral dos tipos de pavimentos

Um dos objetivos do inquérito foi o de verificar quais os tipos de pavimentos preferidos nos passeios, tendo em conta os tipos de pavimentos encontrados ao longo do percurso selecionado. De ressaltar que quando foi feita esta questão era apresentada uma compilação de imagens com os diversos tipos de pavimentos. Os resultados desta questão surgem na Figura 53. Foi possível verificar que cerca de 32% dos inquiridos preferem passeios em blocos de betão, enquanto 20% manifestou a sua preferência por pavimentos em argamassa. De seguida, surgem os pavimentos cerâmicos com 15% e os pavimentos betuminosos com 13%. Os passeios com menor percentagem de preferências foram a calçada à Portuguesa (11%), as lajes de pedra (7%) e os cubos de granito (2%). Ou seja, os pavimentos em pedra natural reuniram bastante menos preferências que os pavimentos em betão, betuminosos e em argamassa.

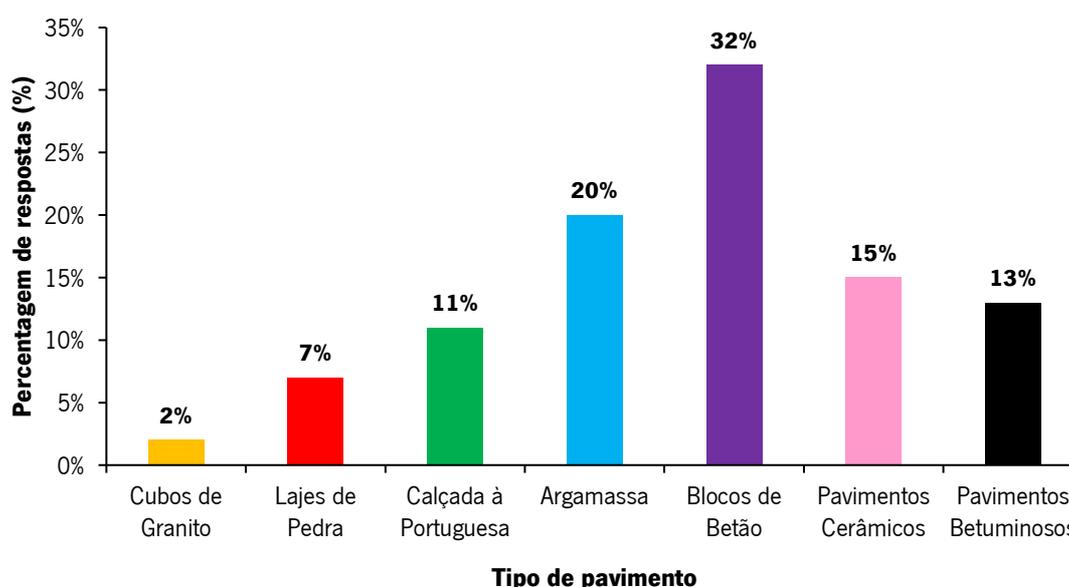


Figura 53 – Tipos de pavimento nos passeios preferidos pelos inquiridos

Os resultados sugerem então que os inquiridos preferem pavimentos mais uniformes, regulares e com maior atrito, como é o caso dos pavimentos em blocos e em hexágonos de betão. Inversamente, a menor preferência pelos pavimentos em pedra natural poderá estar relacionada com a maior irregularidade destes pavimentos e com facto de alguns deles, nomeadamente a calçada à Portuguesa, terem um menor atrito, o que torna estes passeios mais escorregadios.

Outro objetivo foi o de perceber que motivo(s) justifica(m) a escolha dos inquiridos por determinado tipo de pavimento nos passeios. Os resultados desta questão surgem na Tabela 8.

Tabela 8 – Motivos que justificam a escolha dos inquiridos por determinado tipo de pavimento nos passeios

Pavimento dos passeios	Lajes de pedra	Blocos de betão	Pavimentos cerâmicos	Argamassa	Calçada à Portuguesa	Pavimentos betuminosos	Cubos de granito
Regularidade	9%	11%	17%	36%	22%	40%	
Conforto	33%	39%	53%	55%	44%	40%	50%
Aderente	33%	20%	6%	5%		15%	
Outras	25%	30%	24%	4%	34%	5%	50%
N	12	46	17	22	9	20	2

De acordo com os dados, a argamassa e os pavimentos cerâmicos foram avaliados como os mais confortáveis, respetivamente com 55% e 53%. Os pavimentos betuminosos e a argamassa foram avaliados como sendo os mais regulares, respetivamente com 40% e 36%. No que se refere à aderência, nas respostas dos inquiridos os pavimentos que se destacaram foram as lajes de pedra (contrariamente aos resultados de medição do atrito) e os blocos de betão, respetivamente com 33% e 20%.

Um outro objetivo fundamental do inquérito foi o de tentar perceber a importância que os inquiridos dão aos parâmetros da análise objetiva. Esta avaliação foi feita através de uma escala Likert, onde 1 era um parâmetro *nada importante* para andar a pé e 5 era um parâmetro *muito importante*. Os resultados desta avaliação surgem na Figura 54.

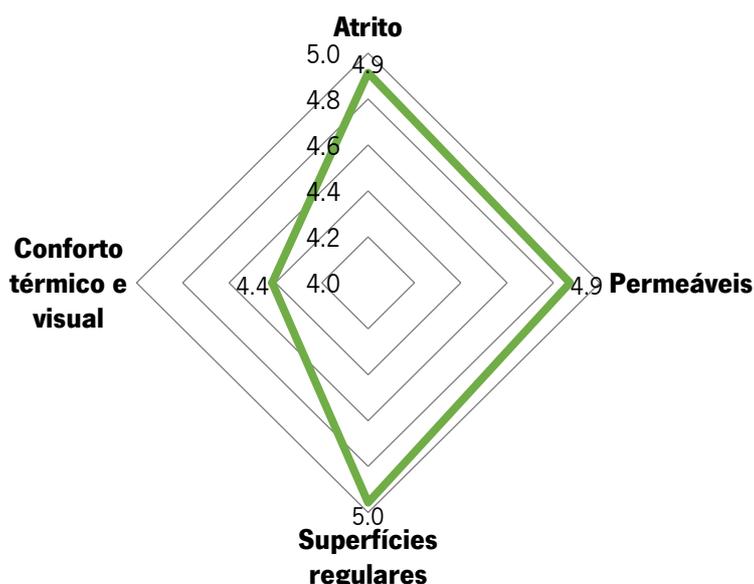


Figura 54 – Avaliação dos pavimentos em função das suas características

A avaliação permitiu concluir que os diversos parâmetros dos pavimentos foram avaliados de forma *importante* ou *muito importante* para andar a pé, pois todos obtiveram uma avaliação média superior a 4. O parâmetro com a avaliação média mais elevada (5,0) foi a existência de pavimentos regulares. Ou seja, para os inquiridos, a existência de pavimentos sem irregularidades, como blocos levantados ou rebaixados, buracos, fissuras e materiais soltos, é um fator de máxima importância nas deslocações a pé. A existência de passeios com pavimentos que ofereçam um bom atrito e uma boa permeabilidade surgem logo de seguida (avaliação média de 4,9). Para os inquiridos, a existência de pavimentos que promovam um bom atrito e evitem a acumulação de água à sua superfície são também características de crucial importância para as deslocações a pé. O parâmetro com menor avaliação foi o conforto térmico e visual associado aos passeios (4,4). Apesar de elevada, esta avaliação indicia que os inquiridos conferem uma menor importância a este parâmetro e/ou são menos sensíveis para a sua influência.

A avaliação das restantes características dos passeios nas deslocações pedonais foi igualmente feita através de uma avaliação Likert. Os resultados desta avaliação surgem na Figura 55.

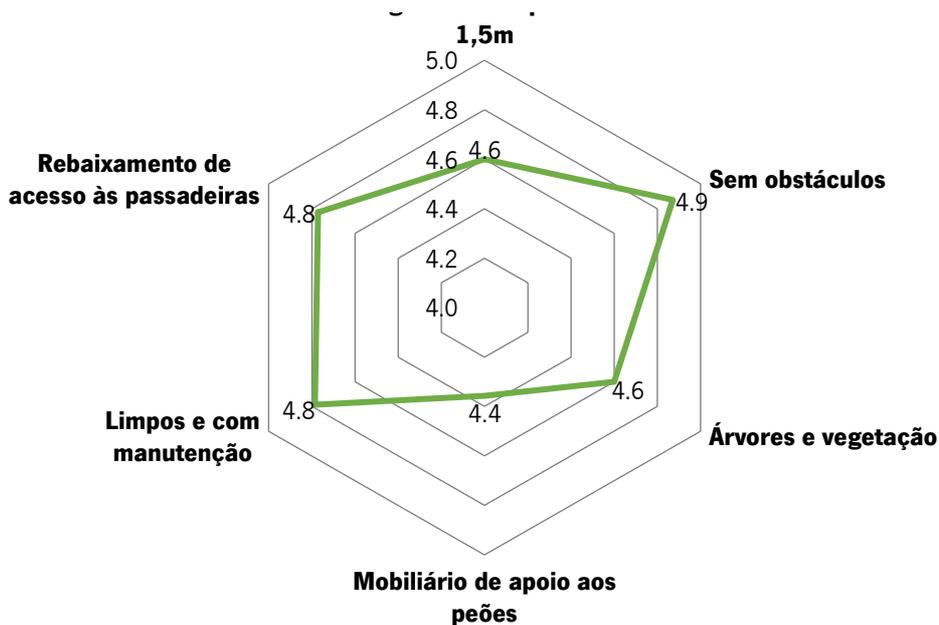


Figura 55 – Avaliação de outras características gerais os passeios

Das seis características gerais incluídas na questão, os inquiridos avaliaram de forma mais elevada a existência de passeios sem obstáculos, tais como carros estacionados e esplanadas nos passeios. Este parâmetro obteve uma avaliação média de 4,9. De seguida, com uma avaliação média de 4,8, surgem dois parâmetros: i) os passeios com rebaixamento de acesso às passadeiras; e ii) a existência de passeios limpos e com uma adequada manutenção. O primeiro caso é particularmente importante para as

deslocações e travessias de pessoas com algum tipo de limitação física, população idosa, carrinhos de bebé, enquanto o segundo aspeto está mais relacionado com a atratividade e segurança do percurso. Os parâmetros avaliados imediatamente a seguir (média 4,6) foram a largura dos passeios e a existência de árvores ao longo dos passeios. Contrariamente ao que seria expectável, a largura dos passeios, apesar de ter implicações na fluidez pedonal e na circulação de pessoas com limitações (como utilizadores de cadeiras de rodas) não foi avaliada como um dos principais parâmetros nas características gerais dos passeios. O mobiliário de apoio aos peões teve a menor avaliação média (4,4) neste conjunto de parâmetros. Para os inquiridos, a presença de bancos, papelarias, sinais e iluminação, entre outro mobiliário é menos decisivo que as restantes características para as deslocações a pé.

Por último, realça-se que a avaliação média feita aos parâmetros relacionados com os pavimentos (4,8) foi mais elevada do que às restantes características gerais dos passeios (4,6). Tal constatação demonstra que, para a população envolvida neste estudo, o tipo e características dos pavimentos foram percecionadas como um dos parâmetros dos passeios mais importantes nas deslocações feitas a pé.

#### 4.3.4. Avaliação geral das condições específicas dos passeios no local do inquérito

Relativamente à avaliação geral das condições específicas dos passeios no local do inquérito, a Tabela 9 mostra a avaliação média obtida nesses locais. A avaliação foi também realizada de acordo com a já referida escala de Likert.

Tabela 9 – Avaliação média das condições dos pavimentos nos locais do inquérito

<b>Localização/Rua</b>	<b>Tipo de pavimento</b>	<b>Avaliação média</b>	<b>N</b>
Rua Gabriel Pereira de Castro *	Lajes de pedra	3,1	11
Rua Conselheiro Januário *	Calçada à Portuguesa	3,2	5
Rua Conselheiro Januário	Lajes de pedra	3,5	1
Rua Conselheiro Januário *	Argamassa	3,2	12
Rua Nova de Santa Cruz *	Hexágonos de betão	4,0	21
Rua Nova de Santa Cruz	Lajes de pedra	3,5	8
Rua do Taxa	Argamassa	4,0	3
Rua do Taxa	Calçada à Portuguesa	3,6	5
Praça da Galiza *	Cubos de granito	4,6	2
Rua D. Pedro V	Lajes de pedra	1,3	2

\* Local correspondente a um dos sete pontos de análise, onde foram realizados ensaios.

Com apenas uma exceção, a avaliação foi superior a 3 em todos os locais onde decorreram os inquéritos, o que, desde logo indica que os inquiridos estavam satisfeitos ou muito satisfeitos com os respetivo tipo e condição dos pavimentos. As avaliações mais elevadas (superiores a 4) foram feitas em pavimentos de hexágonos de betão (Rua Nova de Santa Cruz), argamassa (Rua do Taxa) e em cubos de granito (Praça da Galiza). No entanto, ressalve-se que esta última avaliação resulta apenas de dois inquéritos. Com exceção desta avaliação dos cubos de granito, esta avaliação reforça a ideia de que os inquiridos tendem a avaliar de forma mais positiva os pavimentos em argamassa e em blocos/hexágonos de betão. Por seu turno, as menores avaliações foram registadas em pavimentos de pedra natural, nomeadamente nas lajes de pedra do passeio da Rua Gabriel Pereira de Castro (avaliação de 3,1), da Rua Conselheiro Januário (3,5) e da Rua Nova de Santa Cruz (3,5), bem como na calçada à Portuguesa da Rua Conselheiro Januário (3,2). A pior avaliação média (1,3) foi registada na Rua D. Pedro V, no pavimento em lajes de pedra. Apesar de refletir apenas a opinião de dois inquiridos, é de realçar que as lajes de pedra nesta rua são bastante irregulares, não oferecendo condições adequadas de conforto e segurança aos peões.

#### 4.3.5. Sugestões dos peões inquiridos para melhorar as condições oferecidas pelos passeios em geral na cidade de Braga

As sugestões referidas em resposta à Questão 5 do inquérito, para melhorar as condições oferecidas aos peões na cidade de Braga, mostram que os inquiridos revelam uma preocupação especial com a manutenção e limpeza dos passeios que devem ser feitas de forma adequada e regular. Além disso, foi referida a necessidade de disponibilizar mais mobiliário de apoio, nomeadamente de bancos e de rebaixar os passeios nas travessias e acessos para facilitar a mobilidade dos mais idosos e de utilizadores de cadeiras de rodas. Foi ainda referida a necessidade de arborizar os passeios para desfrutar da sombra e tornar os passeios mais “verdes”. Finalmente, alguns inquiridos apontaram para a necessidade de os passeios serem mais largos e regulares.

## 5. CONCLUSÃO

Andar a pé é uma atividade muito importante que se deve fazer todos os dias, e por isso deve ser estimulada pelos vários benefícios daí inerentes. De modo a despertar cada vez mais pessoas a utilizarem o modo pedonal, é necessário que existam boas condições para circular a pé, nomeadamente em termos das infraestruturas pedonais. Assim, os passeios devem ser largos, desimpedidos, com pavimentos adequados e devidamente conservados, para os peões poderem circular com segurança e conforto.

Os passeios devem ser projetados para responder às necessidades de todos os utilizadores, incluindo pessoas de diferentes idades, pessoas com carrinhos de bebé, pessoas que usam cadeira de rodas e outros dispositivos de assistência. Nesse sentido, estes devem ser regulares, sem saliências, fissuras, buracos, deformações e rebaixamentos, que possam criar dificuldades em controlar o equilíbrio e aumentem, assim, o risco de escorregar e cair. Posto isto, o estudo da superfície dos passeios, nomeadamente quanto ao tipo e características dos pavimentos, é de grande importância.

Este estudo inovador tinha como principal objetivo compreender de que forma os materiais de pavimentação e as suas condições nos passeios, nomeadamente, o tipo e características dos pavimentos dos passeios, influenciam a circulação dos peões, particularmente em termos de conforto e segurança. O estudo baseou-se numa abordagem mista, combinando componentes de avaliação dos passeios objetivas e subjetivas. A componente objetiva envolveu a avaliação experimental de cinco indicadores: irregularidade, atrito, textura, temperatura (conforto térmico) e refletância solar ou albedo (conforto visual) dos diferentes tipos de pavimentos utilizados no passeio ao longo do percurso selecionado (caso de estudo). A componente subjetiva baseou-se num questionário presencial feito aos peões no percurso selecionado, de forma a compreender a perceção que os mesmos têm sobre as condições oferecidas nos passeios.

Os resultados obtidos revelaram que, ao longo do percurso, os passeios oferecem condições muito distintas, seja em termos de características gerais, como a largura e a presença de obstáculos, seja ao nível da diversidade de pavimentos e do estado de conservação em que se encontram.

Em termos da diversidade dos tipos de pavimento identificados ao longo do percurso pedonal estudado foram identificados: cubos de granito, lajes de pedra, calçada à Portuguesa, argamassa, blocos de betão e ainda hexágonos de betão. No entanto, o tipo de pavimento predominante ao longo do percurso foram os hexágonos de betão e os pavimentos em argamassa. Além disso, a distribuição dos tipos de

pavimentos existentes ao longo do percurso pedonal em estudo demonstrou existir uma grande variabilidade de soluções escolhidas para pavimentar os passeios, muitas vezes em pequenas extensões e intercalando-se sucessivamente. Só foi notada uma exceção na rua Nova de Santa Cruz com uma extensão mais longa, na parte final do percurso, em que esta foi recentemente intervencionada e o tipo de pavimento usado foram os hexágonos de betão.

Quanto à irregularidade, os resultados mostraram que os dois locais com passeios em argamassa apresentaram menores valores de irregularidade, ao contrário dos cubos de granito que apresentaram maior irregularidade. Além disso, também se destacaram pela negativa as lajes de pedra e a calçada à Portuguesa como pavimentos mais irregulares e desconfortáveis.

No que se refere ao atrito, de uma forma geral os diversos tipos de pavimentos apresentaram bons resultados. O pavimento em blocos de betão salientou-se com o seu valor mais elevado de atrito, demonstrando assim ser o pavimento com menor risco de escorregamento para os peões que circulam no percurso pedonal estudado. Por outro lado, os pavimentos que registaram valores de atrito mais baixos foram a calçada à Portuguesa e as lajes de pedra, apresentando um risco de escorregamento moderado. Concluindo, a superfície mais lisa dos passeios em lajes de pedra e em calçada à Portuguesa representam um maior risco para os peões em termos de escorregadelas e derrapagens, em especial em tempo de chuva, podendo colocar em causa a segurança e o conforto dos peões.

Quanto à textura, os resultados mostraram que em geral os pavimentos apresentam valores adequados para a sua utilização em passeios. Contudo, destacaram-se os cubos de granito e a calçada à Portuguesa, pois apresentaram textura mais elevada que pode facilitar a drenagem superficial, como resultado de serem pavimentos em cubos de pedra pequenos, irregulares e com um maior número de juntas.

No que se refere ao conforto térmico, os valores de temperatura ao nível do passeio, que interfere diretamente com o conforto térmico dos peões, foram muito superiores aos valores da temperatura média e máxima do ar registados na estação meteorológica de Braga nos dias em que foram efetuados os ensaios aos pavimentos. Isto deve-se à absorção da radiação solar pelos diferentes tipos de pavimentos ao nível do solo. Contudo, no registo contínuo de temperaturas não foi evidente uma correlação entre o tipo de pavimento do passeio e a ocorrência de maiores ou menores temperaturas, isto porque outros efeitos mostraram ter um efeito mais significativo no conforto térmico, como por exemplo, o sombreamento. Apesar disso, verificou-se uma redução da temperatura na calçada à Portuguesa e um aumento geral da temperatura nas lajes de pedra em relação às zonas envolventes. Os

resultados obtidos com a câmara termográfica ajudaram a compreender e a confirmar quais os fatores com influência direta na temperatura dos pavimentos, tais como a cor do pavimento, o efeito do sombreamento e a perda de temperatura por convecção nas juntas dos blocos de pedra ou betão. Na calçada à Portuguesa verificaram-se diferenças de temperatura significativas entre os blocos de pedra escuros e claros, confirmando assim o efeito da cor na temperatura do pavimento.

Quanto ao albedo, que tem implicações no conforto visual dos peões e no conforto térmico ao nível dos passeios, os resultados revelaram que a calçada à Portuguesa reflete mais luz solar, ao contrário dos hexágonos de betão que demonstraram ser mais absorventes. Assim, concluiu-se que os pavimentos de cor mais escura e mate absorvem mais radiação do que os pavimentos claros e brilhantes.

No que toca aos resultados obtidos nos inquéritos aos peões, na avaliação geral dos tipos de pavimentos, estes demonstraram que preferem pavimentos mais uniformes, regulares e com maior atrito, como é o caso dos pavimentos em blocos e em hexágonos de betão. Inversamente, a menor preferência pelos pavimentos em pedra natural poderá estar relacionada com a maior irregularidade destes pavimentos e com o facto de alguns deles, nomeadamente a calçada à Portuguesa, terem menos atrito, tornando estes passeios mais escorregadios. No que toca aos pavimentos que consideraram mais confortáveis, destacaram-se a argamassa e os pavimentos cerâmicos. Os pavimentos betuminosos e a argamassa foram avaliados como sendo os mais regulares. Em relação à aderência, os peões destacaram as lajes de pedra (contrariamente aos resultados de medição do atrito) e os blocos de betão. Além disso, atribuíram uma maior importância ao tipo de pavimento e ao seu estado de conservação do que às características gerais dos passeios, como a largura e a presença de mobiliário de apoio aos peões.

Os resultados obtidos neste estudo inovador realizado em Braga, mostraram que alguns dos pavimentos dos passeios do percurso seleccionado devem ser melhorados, pois encontram-se bastante danificados, interferindo assim no conforto e segurança dos peões. Alguns troços dos passeios, ao longo do percurso estudado, devem ser intervencionados de modo a melhorar o conforto e a segurança dos peões enquanto andam a pé. Além disso, a melhoria das condições de circulação pedonal neste percurso e de toda a cidade devem ser inseridas nas políticas de planeamento, para que futuramente Braga se torne uma cidade com maior utilização do modo pedonal.

A conservação dos passeios deve apoiar-se em informação relativa ao estado de degradação, cadastro e previsão de evolução desse estado ao longo do tempo, para que a Câmara Municipal de Braga evite intervenções desnecessárias, e os danos não se tornem irreparáveis e economicamente insustentáveis,

afetando assim a segurança dos peões. Assim, é fundamental proceder ao levantamento do estado de conservação em que os passeios se encontram para planejar as necessidades de intervenção com a maior brevidade possível.

Além disso, de modo a estimular mais as pessoas a andarem a pé, devem ser feitas as intervenções necessárias nos passeios para evitar acidentes para os peões, nomeadamente quando existem descontinuidades, diferentes condições de conforto e atrito e uma elevada heterogeneidade dos tipos de pavimentos. Todavia, tornar os pavimentos dos passeios da cidade mais homogêneos seria um passo fundamental para os passeios se tornarem mais uniformes e contínuos, sem serem notórias diferentes fases de construção e características dos mesmos, tal como se verifica atualmente em muitos locais.

Para finalizar, sugere-se a realização de alguns trabalhos futuros neste tema de forma a ultrapassar algumas limitações deste estudo. Nesse sentido, para se perceber melhor a perceção dos peões em relação aos passeios, sugere-se a aplicação de inquéritos a um número alargado de inquiridos e a uma área maior da cidade. Além disso, alguns métodos utilizados podem ser otimizados de forma a facilitar a recolha e o tratamento dos dados de forma mais célere, o que é essencial para uma aplicação mais generalizada desta abordagem pelas autarquias. Em especial, será importante desenvolver métodos de levantamento contínuo das características dos pavimentos para avaliar os passeios ao nível da rede, numa abordagem macro para apoio ao planeamento de intervenções na rede pedonal. Nesse sentido, a aplicação de ferramentas SIG será essencial para criar uma base de dados devidamente georreferenciada sobre as propriedades dos passeios nas cidades. Além disso, o carrinho de bebé e o respetivo equipamento poderá evoluir ou inspirar o desenvolvimento de um equipamento móvel de recolha de informação de vários parâmetros dos pavimentos dos passeios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPv. (2009). *Análise da macrotextura e microtextura em duas rodovias do estado do Ceará*. IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço. Associação Brasileira de Pavimentação, Fortaleza, Brasil. Disponível em: <https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/01/An%C3%A1lise-da-Macrotextura-e-Microtextura-em-Duas-Rodovias-do-Estado-do-Cear%C3%A1.pdf>
- Adkins, A., Dill, J., Luhr, G., Neal, M. (2012). Unpacking Walkability: Testing the Influence of Urban Design Features on Perceptions of Walking Environment Attractiveness. *Journal of Urban Design*, 17 (4), pp. 499–510. <https://doi.org/10.1080/13574809.2012.706365>
- Afonso, M. I. (2021). *Pavimentos Betuminosos Permeáveis na Mitigação e Adaptação às Alterações Climáticas*. Dissertação de Doutoramento. Universidade da Beira Interior, Beira Interior, Portugal.
- Aghaabbasi, M., Moeinaddini, M., Shah, M. Z., Asadi-Shekari, Z., Kermani, M. A. (2018). Evaluating the capability of walkability audit tools for assessing sidewalks. *Sustainable Cities and Society*, 37, pp. 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.001>
- Agrawal, A. W., Schlossberg, M., Irvin, K. (2008). How Far, by Which Route and Why? A Spatial Analysis of Pedestrian Preference. *Journal of Urban Design*, 13 (1), pp. 81–98. <https://doi.org/10.1080/13574800701804074>
- Alves, T. S. (2007). *Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários: Aplicação Prática do Radar de Prospecção e do Defletómetro de Impacto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. (2019a) – *Manual de apoio às Zonas Residenciais e de Coexistência*. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, Oeiras. Portugal.
- ANSR – Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. (2019b) – *Manual de apoio à implementação de zonas 30*. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, Oeiras, Portugal.
- Artebel. (2023). Artefactos de betão, S.A. Pavimentos Hexagonal. <https://www.artebel.pt/produtos/pavimentos/hexagonal>
- Austroroads. (2017). Guide to Road Design Part 6A: Paths for Walking and Cycling. *Austroroads*, pp.1–111.
- Autelitano, F., Garilli, E., Giuliani, F. (2020). Criteria for the selection and design of joints for street pavements in natural stone. *Construction and Building Materials*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119722>
- Azmi, D. I., Ahmad, P. (2015). A GIS Approach: Determinant of Neighbourhood Environment Indices in Influencing Walkability between Two Precincts in Putrajaya. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 170, pp. 557–566. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.057>
- Bahrainy, H., Khosravi, H. (2013). The impact of urban design features and qualities on walkability and health in under-construction environments: The case of Hashtgerd New Town in Iran. *Cities*, 31, pp. 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.01.001>

- Barella, R. (2008). *Contribuição para Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros Inerciais*. Dissertação de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Battista G., Manaugh K. (2019). Generating walkability from pedestrians' perspectives using a qualitative GIS method. *Travel Behaviour and Society*, 17, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2019.05.009>
- Bejleri, I., Steiner, R., Fischman, A., Schmucker, J. (2011). Using GIS to analyze the role of barriers and facilitators to walking in children's travel to school. *Urban Design International*, 16 (1), pp. 51–62. <http://dx.doi.org/10.1057/udi.2010.18>
- Berke, E. M., Koepsell, T. D., Moudon, A. V., Hoskins, R. E., Larson, E. B. (2007). Association of the Built Environment With Physical Activity and Obesity in Older Persons. *American Journal of Public Health*, 97 (3), pp. 486–492. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2006.085837>
- Biancardo, S. A., Russo, F., Veropalumbo, R., Vorobjovas, V., Dell'Acqua, G. (2020). Modeling Roman Pavements Using Heritage-BIM: A Case Study in Pompeii. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15 (3), pp. 34–46. <http://dx.doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.482>
- Boulangé, C., Pettit, C., Gunn, L., Giles-Corti, B., Badland, H. (2018). Improving planning analysis and decision making: The development and application of a Walkability Planning Support System. *Journal of Transport Geography*, 69, pp. 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.017>
- Branco, F., Pereira, P., Santos, L. P. (2006). Pavimentos Rodoviários. *Almedina*, 1ª ed.
- Bushell, M., Poole, B., Zegeer, C., Rodriguez, D. (2013). Costs for Pedestrian and Bicyclist Infrastructure Improvements: A Resource for Researchers, Engineers, Planners, and the General Public. *The Federal Highway Administration*.
- Capri, S., Ignaccolo, M., Inturri, G., Le Pira, M. (2016). Green walking networks for climate change adaptation. *Transportation Research Part D*, 45, pp. 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.08.005>
- Cepolina, E., Marradi, A., Olivieri, D. (2017). Functional aspects of modern and ancient pedestrian mobility on historic stone pavements. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12 (3), pp. 589–598. <http://dx.doi.org/10.2495/SDP-V12-N3-589-598>
- CEREMA – Centre for Studies and Expertise on Risks, the Environment, Mobility and Urban Planning. (2019). Ville accessible à tous. Adhérence des revêtements pour des cheminements piétons confortables et sûrs. *Cerema*, 17, pp. 1–16.
- Cervero, R., Sarmiento, O., Jacoby, E., Gomez, L., Neiman, A. (2009). Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá. *International Journal of Sustainable Transportation*, 3 (4), pp. 203–226. <https://doi.org/10.1080/15568310802178314>
- Chandrabose, M., Cerin, E., Mavoa, S., Dunstan, D., Carver, A., Turrell, G., Owen, N., Giles-Corti, B., Sugiyama, T. (2019). Neighborhood walkability and 12-year changes in cardio-metabolic risk: the

- mediating role of physical activity. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 16, 86. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0849-7>
- Chen, P., Zhou, J. (2016). Effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency and risk. *Journal of Transport & Health*, 3 (4), pp. 448–456. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2016.06.008>
- Christiansen, L. B., Toftager, M., Schipperijn, J., Ersbøll, A. K., Giles-Corti, B., Troelsen, J. (2014). School site walkability and active school transport – association, mediation, and moderation. *Journal of Transport Geography*, 34, pp. 7–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.10.012>
- Chu, L., Cui, X., Zhang, K., Fwa, T. F., Han, S. (2019). Directional Skid Resistance Characteristics of Road Pavement: Implications for Friction Measurements by British Pendulum Tester and Dynamic Friction Tester. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2673 (10). <https://doi.org/10.1177/0361198119851453>
- Clemente, O., Ewing, R., Handy, S., Brownson, R. (2005). *Measuring urban design qualities, An illustrated field manual*. Princeton, NJ: Robert Wood Johnson Foundation.
- CMB – Câmara Municipal de Braga. (2022). Intervenção no quarteirão da Igreja de São Lázaro melhora acessibilidade e segurança rodoviária. <https://www.cm-braga.pt/pt/0201/comunicacao/noticias/item/item-1-14868>
- CMB – Câmara Municipal de Braga. (2023). Requalificação do Túnel Rodoviário da Avenida e da Avenida da Liberdade. <https://avenidaliberdade.cm-braga.pt/>
- CMG – Câmara Municipal de Guimarães. (2018). *Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Guimarães*. Fase III – Versão Final do Plano.
- CML – Câmara Municipal de Lisboa. (2013). Plano de Acessibilidade Pedonal de Lisboa: Área Operacional Via Pública. *Câmara Municipal de Lisboa*, 2. pp. 1–335. <https://www.am-lisboa.pt/451600/1/008983,000513/index.htm>
- CML – Câmara Municipal de Lisboa. (2018). Lisboa: O desenho da rua: Manual de espaço público. *Câmara Municipal de Lisboa*, 1ª Ed.
- Colagrande, S. (2008). Pavimentazioni stradali in masselli di pietra. *Strade & Autostrade*, 70, pp. 40–45.
- Corazza, M., Di Mascio, P., Moretti, L. (2016). Managing sidewalk pavement maintenance: A case study to increase pedestrian safety. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3 (3), pp. 203–214. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.04.001>
- Cortesão, J. P. (2013). *Thermal retrofitting of public spaces in compact urban areas. A bioclimatic approach*. Dissertação de Doutoramento. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- CREA-BA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia. (2010). *Guia Prático para a Construção de Calçadas*. Bahia, Brasil.
- Creator, M. I., Glazier, R. H., Moineddin, R., Fazli, G. S., Johns, A., Gozdyra, P., Matheson, F. I., Kaufman-Shriqui, V., Rosella, L. C., Manuel, D. G., Booth, G. L. (2016). Association of Neighborhood Walkability With Change in Overweight, Obesity, and Diabetes. *Journal of the*

- American Medical Association*, 315 (20), pp. 2211–2220.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2016.5898>
- Cubukcu, E., Hepguzel, B., Onder, Z., Tumer, B. (2015). Active Living for Sustainable Future: A Model to Measure “Walk Scores” via Geographic Information Systems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 168, pp. 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.228>
- Curado, L. A. (2019). *Estudo sobre reabilitação de pavimentos flexíveis por meio de técnicas de reciclagem*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal.
- De Winne, E. (2006). Towards an Integral Accessible Public Area in the City. *The Sustainable City IV: Urban Regeneration and Sustainability*, 93, pp. 807–815. <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactionson-ecology-and-the-environment/93/16908#:~:text=In%20The%20City-,Download,-Price>
- Di Mascio, P., D`Alessandro, D., Moretti, L., Corazza, M. (2020). Walking on the safe side: a methodology to assess pavements quality conditions for pedestrian. *Transportation Research Procedia*, 45, pp. 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.027>
- Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto. *Diário da República n.º 152/2006, Série I*. Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. Lisboa.
- DETR – Department of the Environment, Transport and the Regions. (2000). Encouraging walking: advice to local authorities. *Department of the Environment, Transport and the Regions*, pp. 1–40.
- Djekic, J., Djukic, A., Vukmirovic, M., Djekic, P., Brankovic, M. D. (2018). Thermal Comfort of Pedestrian Spaces and the Influence of Pavement Materials on Warming up During Summer. *Energy and Buildings*, 159, pp. 474–485. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.004>
- Doulos, L., Santamouris, M., Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77 (2), pp. 231–249. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.005>
- Dynatest. (2007). [www.dynatest.com](http://www.dynatest.com)
- Ellis, G., Hunter, R., Tully, M. A., Donnelly, M., Kelleher, L., Kee, F. (2016). Connectivity and physical activity: using footpath networks to measure the walkability of built environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43 (1), pp. 130–151. <http://dx.doi.org/10.1177/0265813515610672>
- Etminani-Ghasrodashti, R., Paydar, M., Hamidi, S. (2018). University-related travel behavior: Young adults’ decision-making in Iran. *Sustainable Cities and Society*, 43, pp. 495–508. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.011>
- Ewing, R., Hajrasouliha, A., Neckerman, K., Purciel-Hill, M., Greene, W. (2015). Streetscape features related to pedestrian activity. *Journal of Planning Education and Research*, 36 (1), pp. 1–11.
- Ewing, R., Handy, S. (2009). Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability. *Journal of Urban Design*, 14 (1), pp. 65–84. <https://doi.org/10.1080/13574800802451155>
- Ferreira, J. M. (2007). *Pavimentos em espaços públicos urbanos: Contribuição para a análise e conceção de soluções*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- Ferrer, S., Ruiz, T., Mars, L. (2015). A Qualitative Study on the Role of the Built Environment for Short Walking Trips. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 33 (6), pp. 141–160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2015.07.014>
- FHWA - Federal Highway Administration. (2013). Recommended Guidelines/Priorities for Sidewalks and Walkways. *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*. United States of America. [http://www.pedbikesafe.org/pedsafe/resources\\_guidelines\\_sidwalkswalkways.cfm](http://www.pedbikesafe.org/pedsafe/resources_guidelines_sidwalkswalkways.cfm)
- Fonseca, F., Conticelli, E., Jabbari, M., Ribeiro, P., Tondelli, S., Papageorgiou, G., Petrova, E., Ramos, R. (2020). SPN: Smart Pedestrian Net. A Smart Approach to Evaluate Built Environment Attributes and their Influence on Walkability; Fundamentals, Assessment and Application. *University of Minho*. <https://www.researchgate.net/publication/344775196>
- Fonseca, F., Ribeiro, P., Conticelli, E., Jabbari, M., Papageorgiou, G., Tondelli, S., Ramos, R. (2022). Built environment attributes and their influence on walkability. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16 (7), pp. 660–679. <https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1914793>
- Forsyth, A., Southworth, M. (2008). Cities Afoot - Pedestrians, Walkability and Urban Design. *Journal of Urban Design*, 13 (1), pp. 1–3. <https://doi.org/10.1080/13574800701816896>
- Foster, S., Wood, L., Christian, H., Knuiman, M., Giles-Corti, B. (2013). Planning safer suburbs: Do changes in the built environment influence residents' perceptions of crime risk?. *Social Science & Medicine*, 97, pp. 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2013.08.010>
- Freitas, E. F. (2008). Contribuição da Superfície dos Pavimentos para a Produção de Ruído. *Departamento de Engenharia Civil*, 30. <https://hdl.handle.net/1822/8434>
- Freitas, E., Pereira, P. (2008). *Análise da qualidade funcional e do impacto ambiental de uma estrada urbana*. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2º Congresso de Engenharia de Moçambique. <https://hdl.handle.net/1822/17261>
- Freitas, V., Barreira, E. (2012). *Heat, Air and Moisture Transfer Terminology: Parameters and Concepts*. CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction, FEUP – Porto University, Faculty of Engineering.
- Galanis, A., Botzoris, G., Eliou, N. (2017). Pedestrian road safety in relation to urban road type and traffic flow. *Transportation Research Procedia*, 24, pp. 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.111>
- Galpern, P., Ladle, A., Uribe, F., Sandalack, B., Doyle-Baker, P. (2018). Assessing urban connectivity using volunteered mobile phone GPS locations. *Applied Geography*, 93, pp. 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.009>
- Gao, J., Sha, A., Huang, Y., Liu, Z., Hu, L., Jiang, W., Yun, D., Tong, Z., Wang, Z. (2019). Cycling comfort on asphalt pavement: Influence of the pavement-tyre interface on vibration. *Journal of Cleaner Production*, 223, pp. 323–341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.153>
- Garilli, E., Autelitano, F., Giuliani, F. (2017). A study for the understanding of the Roman pavement design criteria. *Journal of Cultural Heritage*, 25, pp. 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.01.002>

- Garilli, E., Autelitano, F., Roncella, R., Giuliani, F. (2020). The influence of laying patterns on the behaviour of historic stone pavements subjected to horizontal loads. *Construction and Building Materials*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119657>
- Garilli, E., Giuliani, F. (2019). Stone pavement materials and construction methods in Europe and North America between the 19th and 20th century. *International Journal of Architectural Heritage*, 13 (5), pp. 742–768. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1470269>
- Geocisa. (2007). Auscultación: Vehículo SCRIM com Texturómetro. Madrid. <https://www.drace.com/>
- Geurs, K. T., van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-Use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12 (2), pp. 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Gilderbloom, J. I., Riggs, W. W., Meares, W. L. (2015). Does walkability matter? An examination of walkability's impact on housing values, foreclosures and crime. *Cities*, 42, pp. 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.08.001>
- Giles-Corti, B., Wood, G., Pikora, T., Learnihan, V., Bulsara, M., Van Niel, K., Timperio, A., McCormack, G., Villanueva, K. (2011). School site and the potential to walk to school: The impact of street connectivity and traffic exposure in school neighborhoods. *Health & Place*, 17 (2), pp. 545–550. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2010.12.011>
- Glazier, R., Creatore, M., Weyman, J., Fazli, G., Matheson, F., Gozdyra, P., Moineddin, R., Kaufman-Shriqui, V., Booth, G. (2014). Density, destinations or both? A comparison of measures of walkability in relation to transportation behaviors, obesity and diabetes in Toronto, Canada. *PLoS One*, 9 (1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085295>
- Gomes, H. M., Savionek, D. (2014). Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity. *Revista Brasileira de Engenharia Biomedica*, 30 (4), pp. 291–300. <http://dx.doi.org/10.1590/1517-3151.0546>
- Gong, J., Han, E., Park, S., Cho, D. (2020). Evaluation of Long-term Performance for Bonded Natural Stone Pavement using Accelerated Pavement Test [Part II: Skid Resistance, Response of deflection and FEM Analysis]. *Applied Sciences*, 10 (3). <https://doi.org/10.3390/app10030879>
- GSLLP (2013). Uneven sidewalk/ walkway injuries. Goidel & Siegel LLP <https://www.goidelandsiegel.com/blog/category/sidewalk-accidents/>
- Guo, Z., Loo, B. (2013). Pedestrian environment and route choice: evidence from New York City and Hong Kong. *Journal of Transport Geography*, 28, pp. 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.11.013>
- Habibian, M., Hosseinzadeh, A. (2018). Walkability index across trip purposes. *Sustainable Cities and Society*, 42, pp. 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.005>
- Halliday, D., Resnick R., Walker, J. (2006). Fundamentos de Física: Volume 1 – Mecânica. *Livros Técnicos e Científicos Editora*, 7ª Ed.

- Hamidi, S., Moazzeni, S. (2019). Examining the Relationship between Urban Design Qualities and Walking Behavior: Empirical Evidence from Dallas, TX. *Sustainability*, 11 (10). <https://doi.org/10.3390/su11102720>
- Hampson, R. (2006). Sidewalks bounce back, USA.
- Handy, S., Mokhtarian, P. (2008). Growing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change. *Journal of the American Planning Association*, 75 (1), pp. 95-96. <http://dx.doi.org/10.1080/01944360802540364>
- Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M., Rosenkranz, T. (2006). *Construction Materials Manual. Materials Science*. München: Birkhäuser. <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614559>
- Hooftman, N., Messagie, M., Van Mierlo, J., Coosemans, T. (2018). A review of the European passenger car regulations – Real driving emissions vs local air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 86, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012>
- Howell, N. A., Tu, J. V., Moineddin, R., Chen, H., Chu, A., Hystad, P., Booth, G. L. (2019). The probability of diabetes and hypertension by levels of neighborhood walkability and traffic-related air pollution across 15 municipalities in Southern Ontario, Canada: A dataset derived from 2,496,458 community dwelling-adults. *Data in brief*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104439>
- IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes. (2020a). *Documento normativo para aplicação a arruamentos urbanos: Fascículo II: Características geométricas para rodovias para tráfego motorizado*. Lisboa.
- IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes. (2020b). *Documento normativo para aplicação a arruamentos urbanos. Fascículo III: Características geométricas para vias de tráfego não motorizado*. Lisboa.
- IMTT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres. (2011a). *Pacote da Mobilidade Território, Acessibilidade e Gestão de Mobilidade: Guia para a Elaboração de Planos de Mobilidade e Transportes*. Lisboa.
- IMTT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres. (2011b). *Pacote da Mobilidade Território, Acessibilidade e Gestão de Mobilidade: Coleção de Brochuras Técnicas/Temáticas: Rede Pedonal – Princípios de Planeamento e Desenho*. Lisboa.
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2023). Gráficos de Monitorização Diária da Temperatura da Estação de Braga. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitoriza.dia>
- ITE – Institute of Transportation Engineers. (1998). Design and Safety of Pedestrian Facilities: A Recommended Practice of the Institute of Transportation Engineers. *Institute of Transportation Engineers*.
- Jacobs, J., Backholer, K., Strugnell, C., Allender, S., Nichols, M. (2021). Socio-economic and Regional Differences in Walkability and Greenspace Around Primary Schools: A Census of Australian Primary School Neighbourhoods. *Journal of Community Health*, 46, pp. 98–107. <https://doi.org/10.1007/s10900-020-00851-7>

- James, P., Hart, J., Banay, R. F., Laden, F., Signorello, L. (2017). Built Environment and Depression in Low-Income African Americans and Whites. *American Journal of Preventive Medicine*, 52 (1), pp. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2016.08.022>
- Kaplan, J., Chalfin, A. (2022). Ambient lighting, use of outdoor spaces and perceptions of public safety: evidence from a survey experiment. *Security Journal*, 35, pp. 694–724. <https://doi.org/10.1057/s41284-021-00296-0>
- Kasemsuppakorn, P., Karimi, H. A. (2013). A pedestrian network construction algorithm based on multiple GPS traces. *Transportation Research Part C*, 26, pp. 285–300. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.09.007>
- Kerr, J., Sallis, J., Owen, N., De Bourdeaudhuij, I., Cerin, E., Sugiyama, T., Reis, R., Sarmiento, O., Fromel, K., Mitás, J., Troelsen, J., Christiansen, L. B., Macfarlane, D., Salvo, D., Schofield, G., Badland, H., Guillen-Grima, F., Aguinaga-Ontoso, I., Davey, R., Bauman, A., Sealens, B., Riddoch, C., Ainsworth, B., Pratt, M., Schmidt, T., Frank, L., Adams, M., Conway, T., Cain, K., Van Dyck, D., Bracy, N. (2013). Advancing science and policy through a coordinated international study of physical activity and built environments: IPEN adult methods. *Journal of Physical Activity and Health*, 10 (4), pp. 581–601. <https://doi.org/10.1123/jpah.10.4.581>
- Kim, S., Park, S., Lee, J. S. (2014). Meso- or micro-scale? Environmental factors influencing pedestrian satisfaction. *Transportation Research Part D*, 30, pp. 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.005>
- Koh, P. P., Wong, Y. D. (2013). Comparing pedestrians' needs and behaviours in different land use environments. *Journal of Transport Geography*, 26, pp. 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.012>
- Lamíquiz, P. J., López-Domínguez, J. (2015). Effects of built environment on walking at the neighbourhood scale. A new role for street networks by modelling their configurational accessibility? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, pp. 148–163. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.003>
- Larranaga, A. M., Arellana, J., Rizzi, L. I., Strambi, O., Cybis, H. B. (2018). Using best–worst scaling to identify barriers to walkability: a study of Porto Alegre, Brazil. *Transportation*, 46, pp. 2347–2379.
- Lee, L., Kuo, Y., Chan, E. (2016). The Association Between Built Environment Attributes and Physical Activity in East Asian Adolescents: A Systematic Review. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 28 (3), pp. 206–218. <https://doi.org/10.1177/1010539516628174>
- Lee, S., Talen, E. (2014). Measuring Walkability: A Note on Auditing Methods. *Journal of Urban Design*, 19 (3), pp. 368–388. <https://doi.org/10.1080/13574809.2014.890040>
- Lee, Y., Fwa, T., Choo, Y. (2005). Effect of Pavement Surface Texture on British Pendulum Test. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, pp. 1247–1257. [www.easts.info/online/journal\\_06/1247.pdf](http://www.easts.info/online/journal_06/1247.pdf)

- Lerman, Y., Omer, I. (2016). Urban area types and spatial distribution of pedestrians: Lessons from Tel Aviv. *Computers, Environment and Urban Systems*, 55, pp. 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.010>
- Levinson, R., Berdahl, P., Akbari, H. (2005). Solar spectral optical properties of pigments – Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 89 (4), pp. 319–349. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.11.012>
- Li, J., Gao, Y., Yin, H. (2013). Pedestrian Facilities Planning on Tianjin New Area Program. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 96, pp. 683–692. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.079>
- Liao, B., van den Berg, P., van Wesemael, P., Arentze, T. (2020). Empirical analysis of walkability using data from the Netherlands. *Transportation Research Part D*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102390>
- Longo, A., Hutchinson, W., Hunter, R., Tully, M., Kee, F. (2015). Demand response to improved walking infrastructure: A study into the economics of walking and health behaviour change. *Social Science & Medicine*, 143, pp. 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.08.033>
- Lundberg, B., Weber, J. (2014). Non-motorized transport and university populations: an analysis of connectivity and network perceptions. *Journal of Transport Geography*, 39, pp. 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.07.002>
- Lwin, K., Murayama, Y. (2011). Modelling of urban green space walkability: Eco-friendly walk score calculator. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35 (5), pp. 408–420. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.002>
- Maleki, M., Zain, M., Ismail, A. (2012). Variables communalities and dependence to factors of street system, density, and mixed land use in sustainable site design. *Sustainable Cities and Society*, 3, pp. 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.01.005>
- Manaugh, K., Geneidy, A. (2011). Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighborhood?. *Transportation Research Part D*, 16 (4), pp. 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.01.009>
- Mateo-Babiano, I. (2016). Pedestrian's needs matter: Examining Manila's walking environment. *Transport Policy*, 45, pp. 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.09.008>
- Menezes, M. (2008). *Estudo das características de superfície de pavimentos rodoviários para análise da segurança do tráfego*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Menezes, M., Santos Silva, A. (2019). Materiais históricos: entre tradição e inovação. Calçada artística portuguesa: a imaterialidade da materialidade. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, pp. 189–211. <https://doi.org/10.34638/54cx-1760>
- Methorst, R., Monderde-i-Bort, H., Risser, R., Sauter, D., Tight, M., Walker, J. (2010). COST 358 - Pedestrian Quality Needs, Final Report. *Walk21*, pp. 99–109.

- Mikalsen, R., Wang, Y. D., Roskilly, A. P. (2009). A comparison of Miller and Otto cycle natural gas engines for small scale CHP applications. *Applied Energy*, 86 (6), pp. 922–927. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.021>
- Millward, H., Spinney, J., Scott, D. (2013). Active-transport walking behavior: destinations, durations, distances. *Journal of Transport Geography*, 28, pp. 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.11.012>
- Mohora, I., Anghel, A. A. (2019). Urban Landscape- Cubic Stone Streets in Historical Areas, Advantages and Disadvantages, Case Study Timisoara Versus Rome. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471 (8). <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/471/8/082028>
- Monteiro, C. (1990). Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *GEOSUL*, 9, pp. 61–79.
- Morris, J. N., Hardman, A. E. (1997). Walking to Health. *Sports Medicine*, 23 (5), pp. 306–332. <https://doi.org/10.2165/00007256-199723050-00004>
- Moura, D. (2020). Você sabe o que é o albedo? Meteored. <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/voce-sabe-o-que-e-albedo.html>
- MPA – Mineral Products Association. (2009). Asphalt Applications: Construction and surfacing of footways and cycleways using asphalt. *Mineral Products Association*. <https://www.mineralproducts.org/Mineral-Products/Asphalt/Asphalt-Applications.aspx>
- Nasir, M., Lim, C. P., Nahavandi, S., Creighton, D. (2014). A genetic fuzzy system to model pedestrian walking path in a built environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 45, pp. 18–34. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2014.03.002>
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 47, pp. 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- NZTA - New Zealand Transport Agency. (2009). *Pedestrian planning and design guide*. New Zealand: NZ Transport Agency.
- Oliver-Solà, J., Josa, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2009). Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, pp. 302–312. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0083-7>
- Panagopoulos, T., Duque, J., Dan, M. (2016). Urban planning with respect to environmental quality and human well-being. *Environmental Pollution*, 208, pp. 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.07.038>
- Papageorgiou, G., Demetriou, G. (2019). Investigating learning and diffusion strategies for sustainable mobility. *Smart and Sustainable Built Environment*, 9 (1), pp. 1–16. <http://dx.doi.org/10.1108/SASBE-02-2019-0020>
- Pecchini, D., Giuliani, F. (2015). Street-Crossing Behavior of People with Disabilities. *Journal of Transportation Engineering*, 141 (10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000782](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000782)

- Peiravian, F., Derrible, S., Ijaz, F. (2014). Development and application of the Pedestrian Environment Index (PEI). *Journal of Transport Geography*, 39, pp. 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.020>
- Pereira, P., Miranda, V. (1999). *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*. Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Phillips, J., Walford, N., Hockey, A., Foreman, N., Lewis, M. (2013). Older people and outdoor environments: Pedestrian anxieties and barriers in the use of familiar and unfamiliar spaces. *Geoforum*, 47, pp. 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.04.002>
- Pimenta, J. G. (2008). *Pavimento Urbano: Adequação ao Uso*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Pinatt, J., Chicati, M., Ildelfonso, J., Filetti, C. (2020). Evaluation of pavement condition index by different methods: Case study of Maringá, Brazil. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100100>
- Pinto, J. I. (2003). *Caracterização Superficial de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- PSP – Prefeitura de São Paulo (2013). *Calçadas*. Prefeitura de São Paulo, São Paulo.
- Qin, Y., Luo, J., Chen, Z., Mei, G., Yan, L. (2018). Measuring the albedo of limited-extent targets without the aid of known-albedo masks. *Solar Energy*, 171, pp. 971–976. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.043>
- Rehan, R. M. (2013). Sustainable streetscape as an effective tool in sustainable urban design. *HBRC Journal*, 9 (2), pp. 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.03.001>
- Relhas, R. J. (2012). *Elaboração do projeto de um protótipo para avaliação do coeficiente de atrito entre superfícies*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, Portugal. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68433/1/000154943.pdf>
- Ribeiro, A. I., Hoffmann, E. (2018). Development of a Neighbourhood Walkability Index for Porto Metropolitan Area. How Strongly Is Walkability Associated with Walking for Transport?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (12). <https://doi.org/10.3390/ijerph15122767>
- Ribeiro, P., Mendes, J. (2010). Planeamento de Itinerários para Modos Suaves de Transporte - Rotas Saudáveis. Conferência XXIV ANPET. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/18217/1/2010\\_ANPET.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/18217/1/2010_ANPET.pdf)
- Ruiz-Padillo, A., Pasqual, F., Uriarte, A., Cybis, H. (2018). Application of multi-criteria decision analysis methods for assessing walkability: A case study in Porto Alegre, Brazil. *Transportation Research Part D*, 63, pp. 855–871. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.07.016>
- Saelens, B., Sallis, J., Black, J., Chen, D. (2003). Neighborhood-Based Differences in Physical Activity: An Environment Scale Evaluation. *American Journal of Public Health*, 93 (9). <https://doi.org/10.2105/ajph.93.9.1552>

- Santos, L. P. (2007a). Características Superficiais de Pavimentos. Grupo de Investigação em Vias de Comunicação, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Santos, L. P. (2007b). Gestão da Conservação de Pavimentos. Grupo de Investigação em Vias de Comunicação, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Seco, A., Macedo, J., Pires da Costa, A. (2008a). *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária: Peões*. CCDR-N - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, 08.
- Seco, A., Antunes, A., Pires da Costa, A., Silva, A. (2008b). *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária: Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias*. CCDR-N - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, 04.
- Shashank, A., Schuurman, N. (2019). Unpacking walkability indices and their inherent assumptions. *Health & Place*, 55, pp. 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.12.005>
- Silva, J. P. (2008). *Aderência Pneu-Pavimento em Revestimentos Asfálticos Aeroportuários*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/3470>
- Singh, R. (2016). Factors affecting walkability of neighborhoods. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, pp. 643–654. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.048>
- Smith, D. R. (2006). Permeable Interlocking Concrete Pavements: Selection, Design, Construction, Maintenance. *Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI)*, 3rd ed.
- Soares, M. R. (2017). *Conforto Térmico do Espaço Público. Caso de Estudo*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Sousa, V. D. (2013). *Caracterização de Pavimentos em Redes de Infraestruturas Pedonais*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Braga, Portugal. <https://hdl.handle.net/1822/31150>
- Specht, L., Rozek, T., Hirsch, F., Santos, R. (2007). Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, 10, pp. 30–38.
- Sung, H., Go, D., Choi, C., Cheon, S., Park, S. (2015). Effects of street-level physical environment and zoning on walking activity in Seoul, Korea. *Land Use Policy*, 49, pp. 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.022>
- Talavera-Garcia, R., Soria-Lara, J. A. (2015). Q-PLOS, developing an alternative walking index. A method based on urban design quality. *Cities*, 45, pp. 7–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2015.03.003>
- Taleai, M., Amiri, E. T. (2017). Spatial multi-criteria and multi-scale evaluation of walkability potential at street segment level: A case study of tehran. *Sustainable Cities and Society*, 31, pp. 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.011>
- Taleghani, M., Berardi, U. (2018). The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban Climate*, 24, pp. 449–459. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.007>

- Tanzil, Y. T., Gamal, A. (2021). Elements identification for pedestrian comfort. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 673. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/673/1/012026>
- Thies, S. B., Richardson, J. K., Ashton-Miller, J. A. (2005). Effects of a surface irregularity and lighting on step variability during gait: A study in healthy young and older women. *Gait & Posture*, 22 (1), pp. 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.06.004>
- Todd, M., Adams, M., Kurka, J., Conway, T., Cain, K., Buman, M., Frank, D., Sallis, J., King, A. (2016). GIS-measured walkability, transit, and recreation environments in relation to older Adults' physical activity: A latent profile analysis. *Preventive Medicine*, 93, pp. 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.09.019>
- TRB – Transportation Research Board. (2010). HCM - Highway Capacity Manual. *Transportation Research Board*, 5<sup>th</sup>.
- TRL – Transport Research Laboratory. (2003). *Application Guide AG26 (Version 2): Footway and Cycle Route Design, Construction and Maintenance Guide*.
- Velaga, N. R., Beecroft, M., Nelson, J. D., Corsar, D., Edwards, P. (2012). Transport poverty meets the digital divide: accessibility and connectivity in rural communities. *Journal of Transport Geography*, 21, pp. 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.12.005>
- Vojnovic, I., Jackson-Elmoore, C., Holtrop, J., Bruch, S. (2006). The renewed interest in urban form and public health: Promoting increased physical activity in Michigan. *Cities*, 23 (1), pp. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2005.07.007>
- Walford, N., Samarasundera, E., Phillips, J., Hockey, A., Foreman, N. (2011). Older people's navigation of urban areas as pedestrians: Measuring quality of the built environment using oral narratives and virtual routes. *Landscape and Urban Planning*, 100 (1-2), pp. 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.006>
- Wang, H., Yang, Y. (2019). Neighbourhood walkability: A review and bibliometric analysis. *Cities*, 93, pp. 43–61. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.015>
- Wang, Y., Chau, C. K., Ng, W. Y., Leung, T. M. (2016). A review on the effects of physical built environment attributes on enhancing walking and cycling activity levels within residential neighborhoods. *Cities*, 50, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.08.004>
- Wei, Y. D., Xiao, W., Wen, M., Wei, R. (2016). Walkability, Land Use and Physical Activity. *Sustainability*, 8 (1), pp. 1–16. <https://doi.org/10.3390/su8010065>
- Werner, C., Brown, B., Stump, T., Tribby, C., Jensen, W., Miller, H., Strelbel, A., Messina, A. (2018). Street use and design: daily rhythms on four streets that differ in rated walkability. *Journal of Urban Design*, 23 (4), pp. 603–619. <https://doi.org/10.1080/13574809.2018.1448706>
- Williams, G., Borghese, M., Janssen, I. (2018). Neighborhood walkability and objectively measured active transportation among 10–13 year olds. *Journal of Transport & Health*, 8, pp. 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.12.006>

- Yin, L. (2017). Street level urban design qualities for walkability: Combining 2D and 3D GIS measures. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, pp. 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.04.001>
- Yoder, E. J., Witczak, M. W. (1975). Principles of Pavement Design. *John Wiley & Sons Inc*, 2<sup>a</sup> ed.
- Zegeer, C.V., Seiderman, C., Lagerwey, P., Cynecki, M., Ronkin, M., Schneider, R. (2002). Pedestrian Facilities user Guide- Providing safety and mobility. *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*, pp. 1–162.
- Zhang, H., Zhang, Y. (2019). Pedestrian Network Analysis using a Network Consisting of Formal Pedestrian Facilities: Sidewalks and Crosswalks. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2673 (7), pp. 294–307. <http://dx.doi.org/10.1177/0361198119846095>
- Zoccali, P., Loprencipe, G., Galoni, A., (2017). Sampietrini Stone Pavements: Distress Analysis Using Pavement Condition Index Method. *Applied Sciences*, 7 (7), pp. 1–22. <https://doi.org/10.3390/app7070669>

## ANEXO I - COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA AO DESLIZAMENTO (PÊNDULO BRITÂNICO)

Pk		Ponto	v1	v2	v3	v4	v5	Temp. da água (°C)	Orientação (ângulo)	PTV	PTV <sub>CORR</sub>	PTV <sub>CORR</sub> MÉDIO
r	pt1		49	48	48	49	49	30.0	//	49	51	51
	pt1_2		53	49	48	49	49	30.0	//	49	52	
r	pt2		27	26	26	26	26	37.0	//	26	29	30
	pt2_1		30	29	28	28	28	34.0	//	29	31	
r	pt3		23	20	20	20	20	32.0	//	21	23	28
	pt3_1		32	30	30	30	30	30.0	//	30	33	
r	pt4		46	45	45	45	45	32.0	//	45	48	49
	pt4_1		47	47	47	47	47	32.0	//	47	49	
r	pt5		50	48	48	48	48	32.0	//	48	51	53
	pt5_1		54	52	52	52	52	30.0	//	52	55	

INFORMAÇÕES											
 Escola de Engenharia Universidade do Minho Departamento de Eng <sup>o</sup> Civil Lab. de Eng <sup>o</sup> - Sec. de Vias de Comunicação Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães Telef: 253 510212 Fax: 253 510217			Entidade: Alexandra Rodrigues								
			Obra: MEU								
			Local: Rodoviária - Universidade Minho								
			Data: 05/04/23 Hora:								
Determinação do Coeficiente de Resistência ao Deslizamento com o Pêndulo Britânico (EN 13036-4 2003)											
<p><b>Anotações:</b></p> Temp. do ar: Caract. do pav.: Tipo de agregado: Observações:											
<p><b>Esquemas de localização dos ensaios</b></p>											
Guimarães, ____ / ____ / ____ Ensaiou: _____ Verificou: _____											

Pk		Ponto	v1	v2	v3	v4	v5	Temp. da água (°C)	Orientação (ângulo)	PTV	PTV <sub>CORR</sub>	PTV <sub>CORR</sub> MÉDIO
pt6	junta	61	61	61	62	62	32.0	//		61	64	60
	liso	55	54	53	53	53	30.0	//		54	56	
pt7	liso	49	48	47	48	48	35.0	//		48	51	52
	junta	49	50	51	51	51	36.0	//		50	53	
<p><b>Anotações:</b></p> <p>Temp. do ar:</p> <p>Caract. do pav.:</p> <p>Tipo de agregado:</p> <p>Observações:</p>						<p><b>Esquemas de localização dos ensaios</b></p>						
<p>Guimarães, ____/____/____</p> <p>Ensaiou: _____</p> <p>Verificou: _____</p>												

## ANEXO II - INQUÉRITO



### Impacto do estado superficial dos pavimentos dos passeios nas condições de circulação dos peões

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

#### Inquérito aos peões

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Localização/Rua: \_\_\_\_\_

Tipo de pavimento: \_\_\_\_\_

Este inquérito faz parte da minha dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana, que tem como objetivo identificar o "Impacto do estado superficial dos pavimentos dos passeios nas condições de circulação dos peões", considerando para o efeito o percurso entre a Rodoviária de Braga até ao Campus de Gualtar da Universidade do Minho. O objetivo deste inquérito é o de recolher informações sobre as perceções dos peões do estado superficial dos pavimentos dos passeios. A sua resposta ao inquérito é de enorme importância para a dissertação. À informação recolhida dá-se garantia total de anonimato de acordo com o Regulamento da Proteção de Dados e da demais legislação nacional e Europeia em vigor.

#### 1. CARACTERIZAÇÃO DO INQUIRIDO (escolha uma opção)

- 1.1. **Género:** Feminino\_\_\_ Masculino\_\_\_
- 1.2. **Classe etária:** 18-24\_\_\_ 25-34\_\_\_ 35-44\_\_\_ 45-54\_\_\_ 55-64\_\_\_ 65-74\_\_\_ 75-84\_\_\_ ≥85\_\_\_
- 1.3. **Pessoa com deficiência:** Sim\_\_\_ Não\_\_\_
- 1.3.1. **Se sim:** Visual\_\_\_ Motora\_\_\_ Outra\_\_\_
- 1.3.2. **Necessita de algum apoio para andar?** Sim\_\_\_ Não\_\_\_ Se sim, qual? \_\_\_\_\_
- 1.4. **Tipo de peão:** Residente na cidade\_\_\_ Pendular (vai e vem todos dias para a cidade) \_\_\_\_\_  
Turista/Visitante\_\_\_ Outro(especificar)\_\_\_\_\_

#### 2. PERFIL DO PEÃO

- 2.1. **Com que regularidade anda a pé?** Diariamente\_\_\_ Frequentemente (> 3 dias/semana) \_\_\_  
Raramente (< 3 dias/semana) \_\_\_ Nunca\_\_\_

##### Peões regulares (diária ou frequentemente)

- 2.1.1. **Qual ou quais os motivos de andar a pé como principal modo de transporte?** Ir para o trabalho\_\_\_ Ir para a escola/universidade\_\_\_ Ir para os transportes públicos\_\_\_ Ir às compras/serviços\_\_\_  
Outro, qual? \_\_\_\_\_

##### Peões não regulares (raramente ou nunca)

- 2.1.2. **Não utiliza regularmente o modo pedonal para se deslocar por causa dos passeios?** Sim\_\_\_ Não\_\_\_
- 2.1.3. **Se sim, indique quais dos seguintes motivos impedem de andar a pé:** (escolher 2 opções por prioridade)  
Passeios com pavimentos degradados\_\_\_ Passeios estreitos e com obstáculos\_\_\_ Passeios sem manutenção e limpeza\_\_\_ Passeios desconectados/sem continuidade\_\_\_ Outros, quais? \_\_\_\_\_
- 2.1.4. **Se as condições dos passeios forem melhoradas, andaria mais a pé no futuro?** Sim\_\_\_ Não\_\_\_
- 2.1.5. **Se não, indique quais os outros motivos que o impedem de andar a pé:** (escolher 2 opções por prioridade)  
Distância a percorrer\_\_\_ Falta de tempo\_\_\_ Insegurança\_\_\_ Condições atmosféricas\_\_\_ Falta de condição física\_\_\_ Outros, quais? \_\_\_\_\_

### 3. AVALIAÇÃO GERAL DOS TIPOS DE PAVIMENTOS

**3.1. Que tipos de pavimento nos passeios prefere para andar a pé? (escolher 2 opções por prioridade)**

Blocos de betão\_\_\_ Pavimentos betuminosos\_\_\_ Calçada à Portuguesa\_\_\_ Cubos de granito\_\_\_ Lajes de pedra\_\_\_ Pavimentos cerâmicos\_\_\_ Argamassa\_\_\_ Outros, quais?

**3.2. Que motivo(s) justifica(m) a sua escolha por esse tipo de pavimento dos passeios?**

**Avaliação dos pavimentos em função das suas características (Escala de Likert - 1 é Nada importante, 2 é Pouco importante, 3 é Neutro, 4 é Moderadamente importante, e 5 é Muito importante)**

**3.3. Andar a pé num passeio que ofereça um bom atrito, ou seja, em pavimentos anti-derrapantes que evitem os peões de escorregar?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.4. Andar a pé em pavimentos permeáveis, ou seja, que evitem a formação de poças e lençóis de água quando chove?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.5. Andar a pé em pavimentos com superfícies regulares, ou seja, em que os materiais não se encontrem soltos (buracos, fissuras) ou desnivelados (blocos levantados, rebaixados)?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.6. Andar a pé em pavimentos que ofereçam um bom conforto térmico e visual, ou seja, que nem sejam muito escuros (promovem o aquecimento) nem muito claros (promovem o encandeamento)?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**Avaliação de outras características gerais dos passeios (Escala de Likert)**

**3.7. Andar a pé em passeios largos, ou seja, em passeios com uma largura livre superior a 1,5m?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.8. Andar a pé em passeios livres de obstáculos (carros estacionados, esplanadas na rua, etc.)?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.9. Andar a pé em passeios com árvores e vegetação que proporcione sombra no verão?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.10. Andar a pé em passeios com mobiliário de apoio aos peões (bancos, papeleiras, sinais e iluminação)?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.11. Andar a pé em passeios limpos e com uma adequada manutenção?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**3.12. Andar a pé em passeios com rebaixamentos de acesso às passadeiras?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DO PASSEIO DO LOCAL DO INQUÉRITO:**

**4.1. Costuma andar a pé neste local e utiliza com frequência este passeio nas suas deslocações?**

Sim\_\_\_ Não\_\_\_

**Avaliação das condições do passeio neste local (Escala de Likert)**

**4.2. Como avalia as condições gerais deste passeio para andar a pé?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**4.3. O pavimento usado neste passeio permite-lhe andar a pé de forma segura sem escorregar?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**4.4. O pavimento usado neste passeio permite-lhe andar a pé de forma segura sem tropeçar?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**4.5. O pavimento usado neste passeio permite-lhe andar a pé de forma confortável do ponto de vista térmico e visual?**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**5. CONSIDERAÇÃO FINAL**

**Tem alguma sugestão para melhorar as condições oferecidas por este passeio ou sobre a melhoria geral das condições oferecidas pelos passeios na cidade de Braga aos peões?**

---

---

---

---

## EXEMPLOS DOS VÁRIOS TIPOS DE PAVIMENTOS DOS PASSEIOS APRESENTADOS AOS INQUIRIDOS PARA APOIO AO PREENCHIMENTO DO INQUÉRITO

### BLOCOS DE BETÃO



### PAVIMENTOS BETUMINOSOS



## **CALÇADA À PORTUGUESA**



## **CUBOS DE GRANITO**



## LAJES DE PEDRA



## PAVIMENTOS CERÂMICOS



## **ARGAMASSA**

