



Avaliação multicritério de infraestruturas pedonais urbanas: um estudo à escala de uma cidade

Filipe Pais

INESCC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra

filipejmcpais@gmail.com

Nuno Sousa

Universidade Aberta

nunosousa@dec.uc.pt

João Coutinho-Rodrigues

Departamento de Engenharia Civil / FCTUC

coutinho@dec.uc.pt

Eduardo Natividade-Jesus

Departamento de Engenharia Civil / ISEC-IPC

ednativi@isec.pt



AValiação multicritério de infraestruturas pedonais urbanas: um estudo à escala de uma cidade

Filipe Pais, Nuno Sousa, João Coutinho-Rodrigues, Eduardo Natividade-Jesus

RESUMO

Os passeios são o suporte urbano do modo de transporte pedonal, um modo importante tanto por si só como pelo facto de praticamente toda a viagem em cidade conter uma componente pedonal. É assim crucial para os decisores municipais avaliar e monitorizar o estado destas infraestruturas. Este trabalho aplica uma metodologia multicritério para avaliação da qualidade dos passeios a um caso de estudo de dimensão média, a cidade de Coimbra, Portugal. A avaliação é feita com vista ao posterior melhoramento dos passeios, pelo que considera apenas critérios intervencionáveis pelas autoridades municipais, e foi desenvolvida para permitir um levantamento expedito e escalável, mesmo com escassos recursos humanos à disposição para a recolha de dados. O caso de estudo comprova a escalabilidade da metodologia e os resultados revelam uma disparidade muito significativa de qualidade entre os passeios analisados, mesmo dentro da mesma área geográfica.

1 INTRODUÇÃO

Caminhar é amplamente reconhecido como sendo benéfico para a saúde e para o ambiente (Pooley *et al.*, 2014). De facto, vários países ocidentais industrializados têm encorajado o uso do modo pedonal por este aumentar a atividade física diária e ajudar a prevenir a obesidade e outras doenças crónicas (Buehler *et al.*, 2011). De entre as várias infraestruturas de suporte às redes de transportes que compõem a cidade, as destinadas à circulação pedonal são as que mais próximas estão da utilização direta pelas pessoas, servindo nomeadamente de base ao acesso a outras infraestruturas de transportes, tais como paragens de autocarro ou parques de estacionamento, podendo ainda ser utilizadas para fins recreativos. Nesse sentido, torna-se muito importante que este tipo de infraestrutura apresente um bom nível de serviço, de maneira aos utilizadores desfrutarem dos benefícios que o uso do modo pedonal lhes garante nos seus trajetos diários.

A pesquisa aqui apresentada constou da aplicação de uma metodologia de avaliação multicritério da qualidade dos passeios (Sousa *et al.*, 2017) à zona central da cidade de Coimbra, Portugal, visando a priorização de intervenções a realizar nas infraestruturas pedonais analisadas. Duas razões agiram como motivação para a realização deste trabalho: em primeiro lugar procurou-se obter uma panorâmica do estado destas infraestruturas numa cidade portuguesa típica, centenária e heterogénea. Em segundo lugar pretendeu-se validar a reivindicação de Sousa *et al.* (2017) quanto à aplicabilidade da metodologia em cidades de maior dimensão.

2 METODOLOGIA

Neste estudo é aplicada uma metodologia multicritério/multiatributo do tipo classificação. Cada passeio é analisado e subsequentemente colocado por essa metodologia numa de várias classes, previamente definidas e ordenadas. Estas classes, embora definidas de forma rigorosa, podem ser interpretadas de forma qualitativa como, p.ex., um passeio estar numa condição “má, medíocre, razoável ou boa”. O método usado, especialmente concebido para esta problemática da classificação, foi o ELECTRE TRI, que difere dos métodos tradicionais de análise multicritério no sentido em que a classificação atribuída a cada alternativa não traduz um valor agregado obtido através de uma média ponderada. Assim são eliminados efeitos compensatórios que podem mascarar a classificação, obtendo-se resultados mais ajustados à realidade. Uma explicação detalhada do método ELECTRE TRI, dito não-compensatório, pode ser encontrada em Mousseau *et al.* (2000, 2001).

A análise multicritério realizada neste estudo considera, para avaliar os passeios, nove critérios de seguida identificados (ver Tabela 1).

Tabela 1 Atributos considerados

<i>Atributo</i>	<i>Escala</i>	<i>Tipo</i>
<i>Largura útil</i>	metros	Benefício
<i>Conforto do pavimento</i>	0 – 4 (discreta)	Benefício
<i>Estado de conservação</i>	0 – 4 (discreta)	Benefício
<i>Acessibilidades</i>	0 – 1 (contínua)	Benefício
<i>Segurança face ao tráfego</i>	0 – 4 (discreta)	Benefício
<i>Iluminação</i>	0 – 4 (discreta)	Benefício
<i>Densidade dos obstáculos</i>	0 – 4 (discreta)	Custo
<i>Ambiente no trajeto</i>	0 – 1 (contínua)	Benefício
<i>Nível serviço HCM (densidade pedonal)</i>	0 – 5 (discreta)	Benefício

Todos os atributos foram escolhidos de modo a poderem sofrer intervenções por parte das autoridades com competência para tal, caso estas assim o determinem. Uma explicação detalhada do significado destes atributos pode ser encontrada em Sousa *et al.* (2017). De notar que passeios muito heterogêneos foram divididos em segmentos homogêneos e tratados em conformidade.

O método ELECTRE TRI requer a definição de vários parâmetros técnicos, nomeadamente alternativas de referência, pesos dos critérios e limiares de indiferença, preferência e veto. Foram definidas três alternativas de referência, denominadas A1, A2 e A3, que agem como fronteiras entre classes. Três alternativas originaram, pois, quatro classes, e os valores que as definem estão indicados na Tabela 2 e Figura 1 abaixo.

Tabela 2 Alternativas de referência

<i>Alternativas</i>	<i>Larg.</i>	<i>Conf.</i>	<i>Conserv.</i>	<i>Acess.</i>	<i>Seg.</i>	<i>Ilum.</i>	<i>Obst.</i>	<i>Amb.</i>	<i>Dens. Ped.</i>
<i>A1</i>	1,2	1	1	0,3	1	1	3	0,3	1
<i>A2</i>	1,5	2	2	0,5	2	2	2	0,5	2
<i>A3</i>	2	3	3	0,7	3	3	1	0,7	4

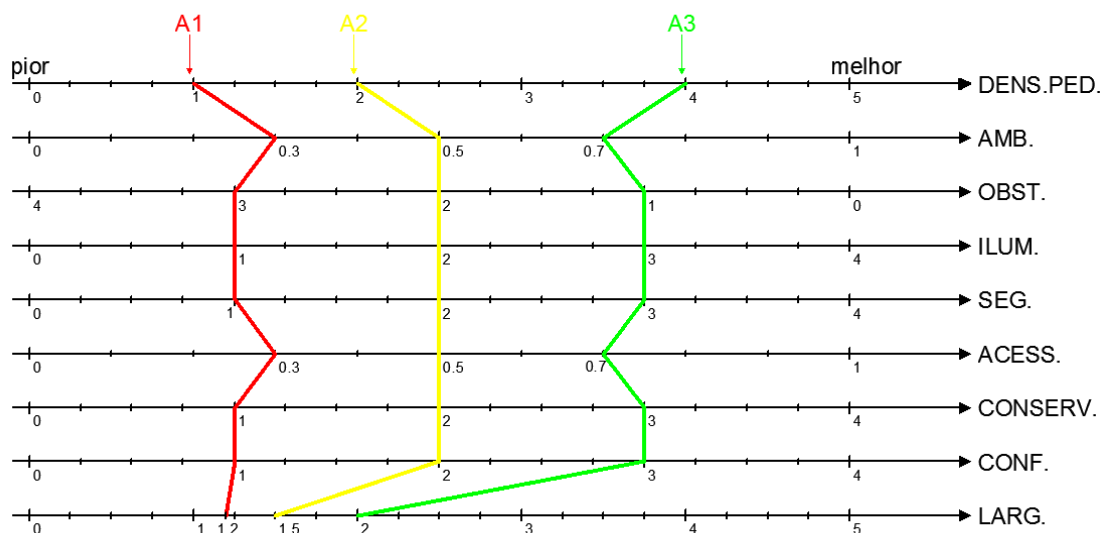


Fig. 1 Classes dos troços delimitadas pelos perfis de referência A1, A2 e A3

Quanto aos pesos, neste estudo foram utilizados dois conjuntos, o primeiro (*P1*) dando foco à segurança dos peões face ao tráfego automóvel e o segundo (*P2*) dando mais ênfase à facilidade e conforto de andar a pé (ver Tabela 3).

Tabela 3 Conjuntos de pesos

Conjuntos de pesos	Larg.	Conf.	Conserv.	Acess.	Seg.	Ilum.	Obst.	Amb.	Dens. Ped.
<i>P1</i>	2	1	2	1	10	2	2	1	1
<i>P2</i>	1	3	8	1	1	2	2	2	2

Os limiares de indiferença, preferência e veto utilizados foram os seguintes (ver Tabela 4).

Tabela 4 Limiares ELECTRE TRI

Limiares	Larg.	Conf.	Conserv.	Acess.	Seg.	Ilum.	Obst.	Amb.	Dens. Ped.
<i>Indiferença</i>	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,1
<i>Preferência</i>	0,5	0,9	0,4	0,5	0,4	0,9	0,9	0,5	1,5
<i>Veto</i>	2,1	2,1	1,1	0,7	1,1	2,1	2,1	0,7	3,1

Os limiares correspondem à diferença mínima entre valores do mesmo critério para um passeio e uma alternativa de referência para os quais um decisor, respetivamente, é indiferente (indiferença), tem clara preferência por um dos valores (preferência), e ponto para o qual não é credível que um passeio possa, globalmente, ser melhor/pior do que uma alternativa de referência (veto).

3 CASO DE ESTUDO E RESULTADOS

Coimbra é uma cidade de dimensão média (143 400 habitantes e densidade populacional 449 hab./km², censos de 2011) localizada no centro de Portugal, junto ao litoral. É uma das mais antigas cidades do país, com abundantes monumentos e zonas de Património Mundial da Humanidade UNESCO, características que a tornam visita frequente por parte de turistas, cujo modo de transporte mais frequente é precisamente o pedonal.

O procedimento para o caso de estudo consistiu, resumidamente, em três fases: recolha de dados; aplicação do ELECTRE TRI para afetação de cada passeio a uma classe; e análise e representação dos resultados.

O levantamento dos dados foi feito no local e sequencialmente, zona a zona, através do preenchimento de um formulário (apresentado em anexo) para cada troço de passeio analisado. Uma amostragem de tempo de recolha de dados revelou que cada passeio levou cerca de 4/5 minutos a avaliar e colocar em formulário. Foram levantados 2481 troços de passeio desta forma, ao longo de 17 zonas da cidade de Coimbra e totalizando uma extensão de mais de 250 km. Foram utilizados muito poucos recursos humanos (apenas uma pessoa), o que comprova que a metodologia adotada é, de facto, escalável e facilmente aplicável, como reivindicado por (Sousa *et al.*, 2017). No entanto, dado que a avaliação de alguns dos critérios requer ajuizamento por parte do agente que recolhe os dados, é conveniente que o levantamento seja feito por alguém com conhecimento da cidade, como p.ex. técnicos camarários ou engenheiros com experiência. É também aconselhável que os mesmos passeios sejam levantados por duas pessoas, ainda que isso signifique duplicação de esforços, dado que tal origina valores mais precisos (média) para os diversos critérios considerados, que se enquadram ainda melhor na realidade evidenciada nas zonas em estudo (TRL, 2003). Na Figura 2 abaixo estão identificadas as zonas da cidade de Coimbra avaliadas. A delimitação das zonas foi baseada essencialmente em similaridades de ordenamento.

Recolhidos e processados os dados no terreno, foi executado em computador o método ELECTRE TRI, que atribuiu cada troço de passeio a uma das quatro classes pré-definidas, de acordo com a parametrização previamente discutida.

Os resultados obtidos são apresentados diretamente sobre um mapa digital da cidade de Coimbra, através do sistema de informação geográfica (SIG) ESRI ArcGIS (UC *campus license*). Dado o volume de resultados, é necessário recorrer a este tipo de ferramentas para a sua visualização. Note-se também que a representação geográfica facilita a identificação espacial de troços mal classificados, tornando mais fácil a tarefa dos decisores municipais na realização de intervenções com vista a melhorar o nível de serviço deste tipo de infraestruturas. Às tabelas de dados associadas a estes passeios foi associada a informação respeitante à respetiva classe resultante da aplicação da metodologia. Por fim, as funcionalidades do ArcGIS foram usadas para criar imagens nas quais os passeios surgem coloridos, sobre fotografia aérea, com uma cor respeitante à sua classe.

É de notar que dos mais de 250 km de extensão de troços analisada, cerca de 24 km correspondem a troços onde não existe passeio ou que estavam em obras e cuja avaliação não pôde, por isso, ser efetuada na altura (235 troços em 2481 avaliados). Todos esses troços foram atribuídos à classe 1, utilizando ambos os conjuntos de pesos.

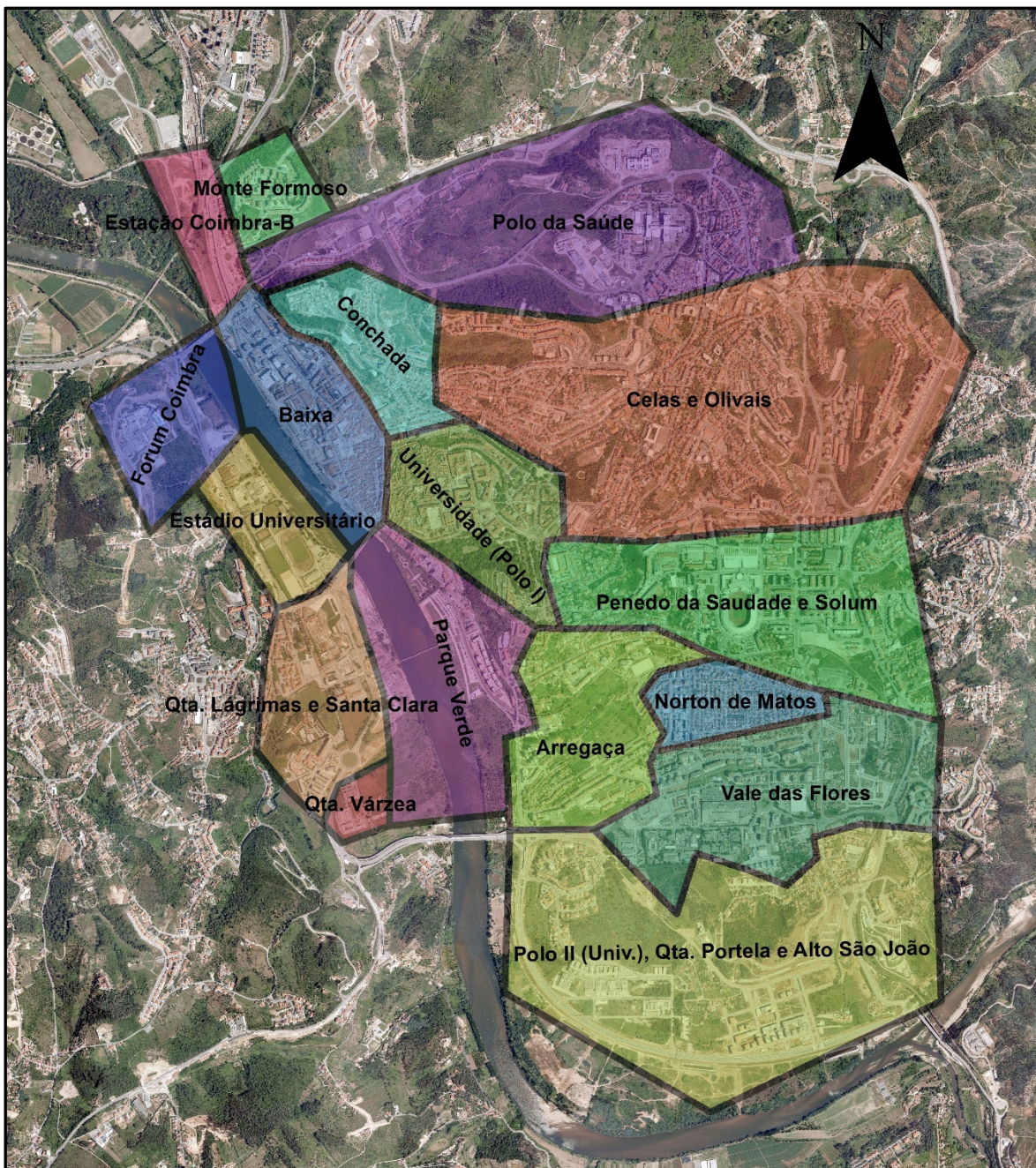
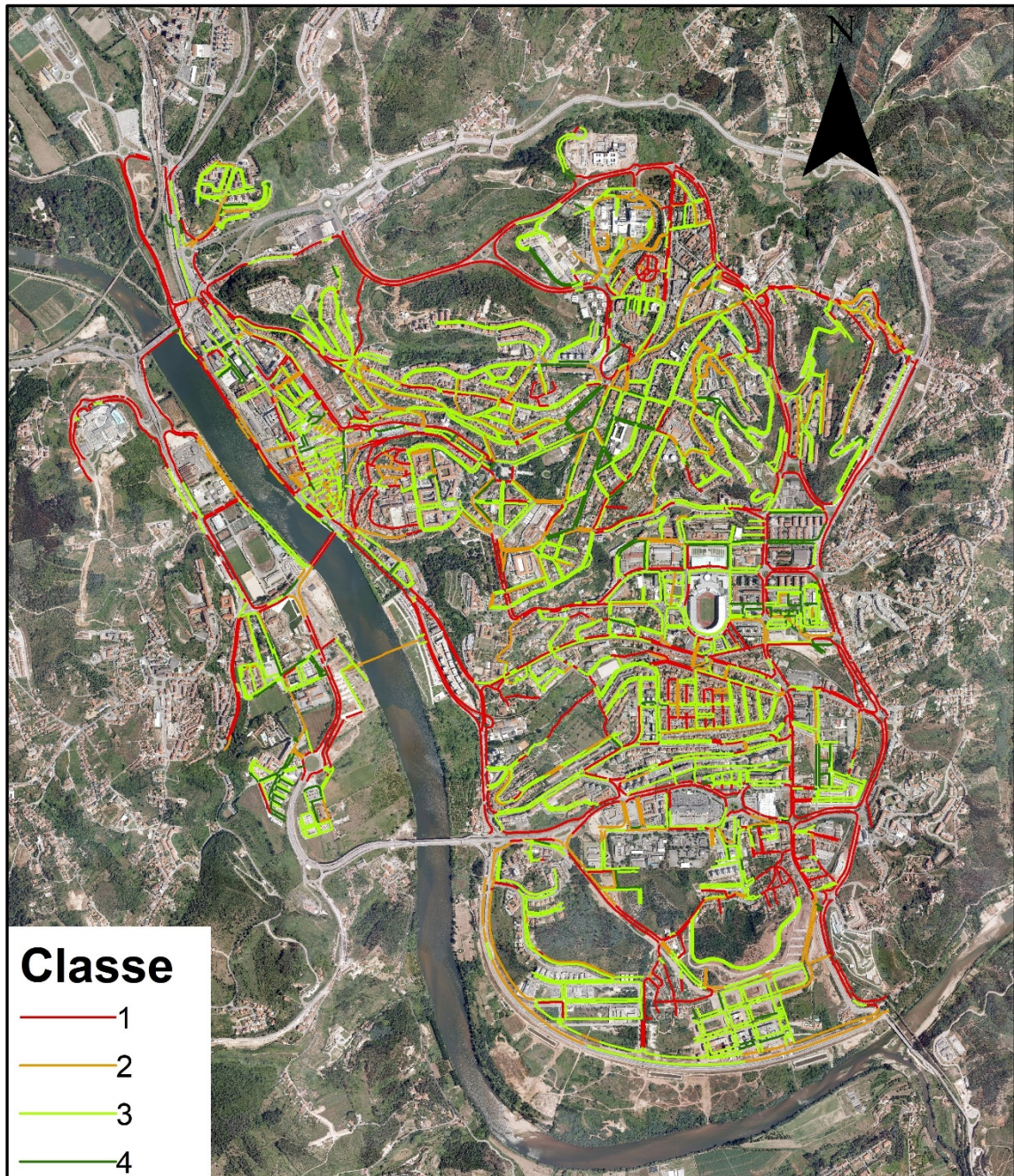


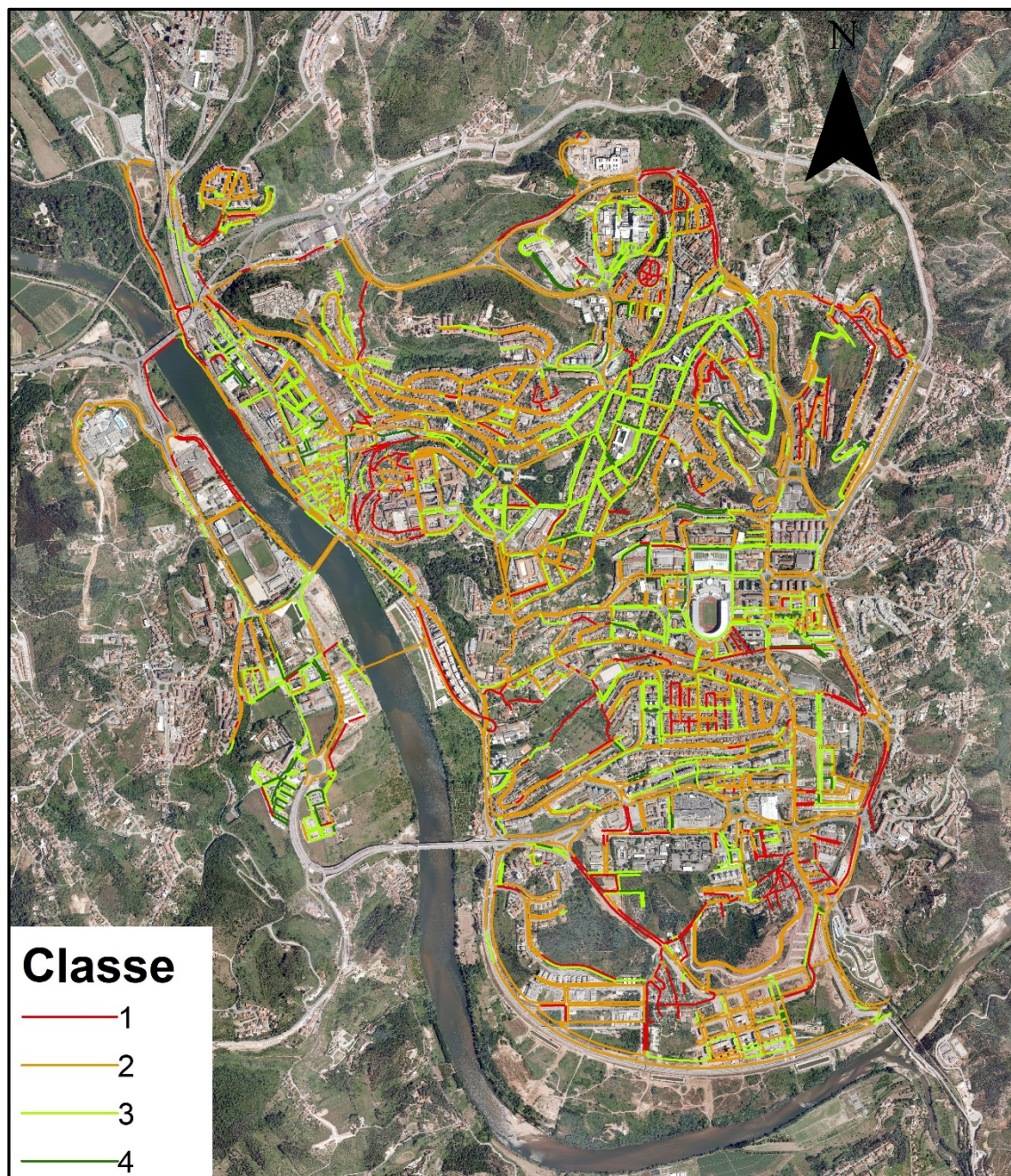
Fig. 2 Zonas avaliadas da cidade de Coimbra

Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se, sobre cartas geográficas, resultados obtidos pela aplicação da metodologia. Aí, com codificação de cores, estão desenhados os troços com a respetiva classificação obtida com dois conjuntos de pesos conforme é discutido na secção da metodologia (um deles coloca ênfase na segurança dos peões, o outro no conforto de andar a pé).



**Fig. 3 Resultados com o conjunto de pesos $P1$ (ênfase na segurança)
Classe 1 (pior classificação), Classe 4 (melhor classificação)**

Relativamente aos resultados, observa-se que a maioria dos troços avaliados está em bom plano quando se coloca ênfase na segurança dos peões através do conjunto de pesos ($P1$) dando relevância a esse aspeto. Cerca de 60% dos troços estudados (1507 em 2481) foram atribuídos às classes mais elevadas, 3 e 4, e correspondem a uma extensão de mais de 138 km sendo que esta percentagem pode inclusive subir a curto prazo, fruto das ações de reparação que estão a ser conduzidas nos troços em obras. Estes troços bem classificados estão, na sua maioria, localizados no interior das zonas da cidade onde se inserem, prestando por isso um bom suporte às deslocações de proximidade dos utentes.



**Fig. 4 Resultados com o conjunto de pesos $P2$ (ênfase no conforto)
Classe 1 (pior classificação), Classe 4 (melhor classificação)**

Os troços atribuídos à classe 2 (372 em 2481) correspondem a uma extensão de cerca de 37 km e encontram-se dispersos um pouco por toda a cidade.

Por último, cerca de 25% dos troços analisados (602 em 2481) foram atribuídos à classe 1, representando uma extensão de cerca de 75 km. Estes troços estão localizados essencialmente em ruas onde o tráfego automóvel é muito intenso (avenidas movimentadas) e não existem barreiras suficientemente eficazes para proteger os peões desse tráfego. Esta extensão necessita de intervenções que visem melhorar estas infraestruturas, ao nível da segurança dos utentes face ao trânsito motorizado.

Na Figura 5 apresentam-se exemplos elucidativos de situações de correspondência entre os resultados obtidos para este conjunto de pesos (*PI*) e a realidade observada.

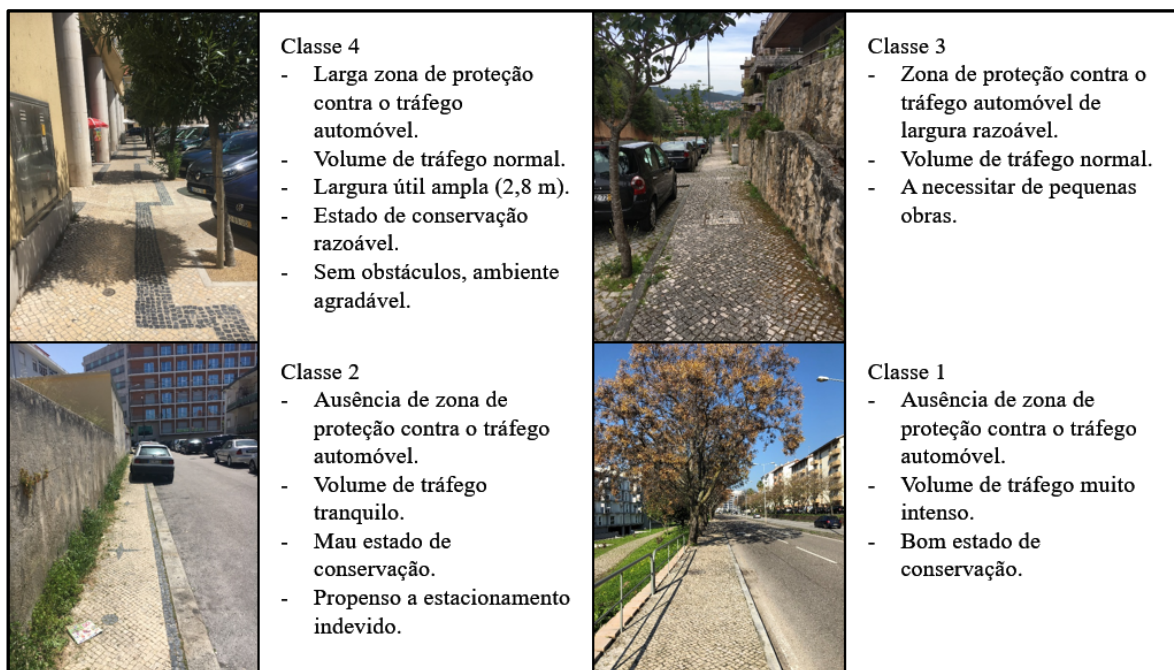


Fig. 5 Exemplos de troços classificados utilizando o conjunto de pesos *PI*

Passando à análise dos resultados obtidos para o conjunto de pesos (*P2*), que dá ênfase ao conforto de andar a pé, verifica-se que a situação não é tão boa. Muitos dos passeios em boas condições de segurança estão algo degradados e assim baixam para classes de desempenho mais baixas quando se aumenta o peso desse critério (estado de conservação). Dos 60% de troços nas classes 3 e 4 para *PI* temos agora apenas cerca de 40% (1010 em 2481), correspondendo a uma extensão de mais de 84 km (138 km para *PI*).

Quase metade dos troços estudados foram atribuídos à classe 2 (1148 em 2481), correspondendo a uma extensão de cerca de 132 km, e necessitam de algum tipo de ação (não-urgente).

Os troços atribuídos à classe 1 (323 em 2481) representam cerca de 34 km de extensão e são estes os que mais necessitam de intervenções com vista ao melhoramento do seu estado de conservação.

Note-se também que as avenidas mais movimentadas, que no conjunto de pesos *PI* apareciam como pertencentes à classe 1, sobem de classe no conjunto *P2*, o que dificulta a decisão sobre quais as ações a tomar.

Na Figura 6 apresentam-se exemplos elucidativos de situações de correspondência entre os resultados obtidos para este conjunto de pesos (*P2*) e a realidade observada.

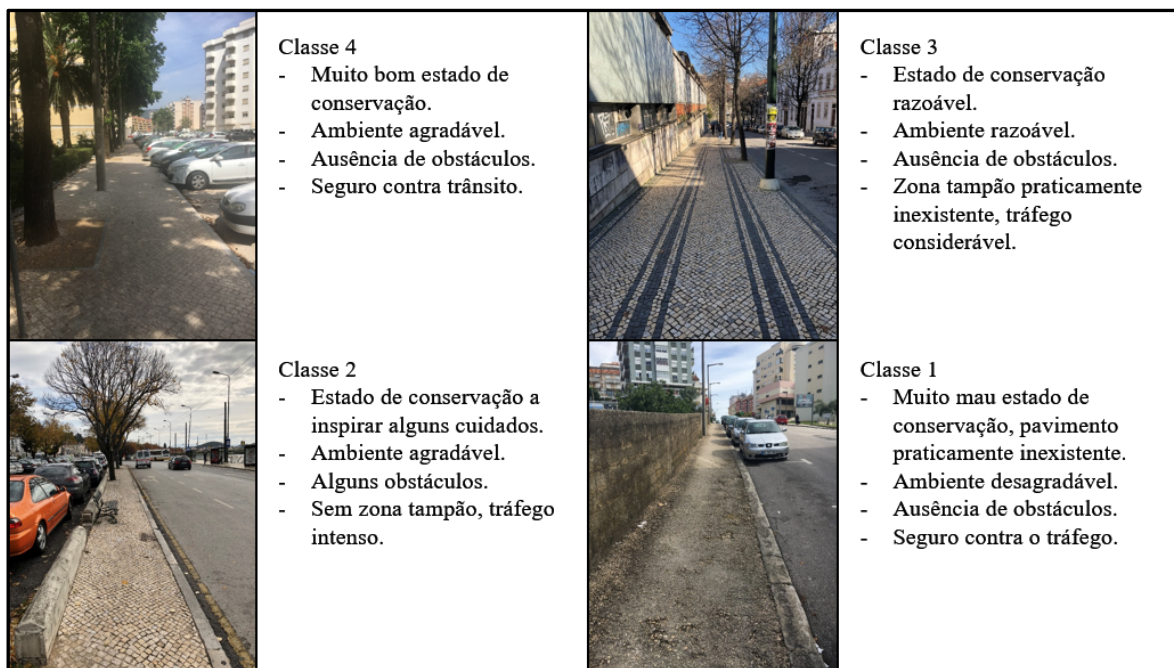


Fig. 6 Exemplos de troços classificados utilizando o conjunto de pesos *P2*

No global os resultados indicam que o desempenho dos passeios na cidade de Coimbra carece de alguns cuidados, embora a situação esteja longe de ser preocupante, independentemente do enfoque que se coloque (segurança ou conforto).

4 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo classificar o desempenho de uma componente da infraestrutura pedonal da cidade de Coimbra, Portugal, os seus passeios, com vista à priorização de eventuais intervenções por autoridades municipais. A análise científica multicritério levada a cabo usou o método ELECTRE TRI como base para obter essa classificação, devidamente parametrizado, em quatro classes pré-definidas. Um segundo objetivo foi o de verificar a escalabilidade da metodologia de levantamento e avaliação, a qual foi efetivamente comprovada.

Os resultados mostram que, de uma extensão total de 250 km de passeios estudados, a maioria, cerca de 175 km ou 216 km, conforme o conjunto de pesos usado (*P1* e *P2*, respetivamente), apresenta um nível de desempenho que, embora perfectível, não justifica intervenção imediata e que apenas uma pequena fração (75 km ou 34 km, conforme os pesos considerados) dos passeios necessita de ações urgentes que visem melhorar o nível de serviço destas infraestruturas.

Com a crescente preocupação com o ambiente, a saúde pessoal, a mobilidade sustentável, bem como com a crise económica que se faz sentir, o uso dos modos ativos de transporte, como o pedonal e a bicicleta, irão, previsivelmente, ganhar cada vez mais preponderância no meio urbano. Portanto, um bom desempenho das infraestruturas pedonais torna-se vital para o incentivo ao uso destes modos de transporte.

Conclui-se que a metodologia adotada neste estudo, de base científica, escalável e facilmente aplicável, revela-se bastante útil e pode contribuir para a melhoria das cidades,

não só em termos de infraestruturas pedonais, mas também relativamente a outros tipos de infraestruturas de engenharia.

Agradecimentos

Trabalho parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, sob a ref.^a PEst-OE/EEI/UI308/2014, e pela iniciativa Energy for Sustainability da Universidade de Coimbra, apoiada pelo projeto Energy and Mobility for Sustainable Regions (EMSURE), sob a ref.^a CENTRO-07-0224-FEDER- 002004.

5 REFERÊNCIAS

Buehler, R., Pucher, J., Merom, D. e Bauman, A. (2011) Active Travel in Germany and the US: Contributions of Daily Walking and Cycling to Physical Activity, *American Journal of Preventive Medicine*, 41(3), 241-250. <http://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.04.012>

Mousseau, V., Figueira, J. e Naux, J.-P. (2001) Using Assignment Examples to Infer Weights for ELECTRE TRI method: Some experimental results, *European Journal of Operational Research*, 130(2), 263-275. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00041-2)

Mousseau, V., Slowinski, R. e Zielniewicz, P. (2000) A User-Oriented Implementation of the ELECTRE-TRI Method Integrating Preference Elicitation Support, *Computers & Operations Research*, 27(7), 757-777. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00117-3](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00117-3)

Sousa, N., Coutinho-Rodrigues, J. e Natividade-Jesus, E. (2017) Sidewalk Infrastructure Assessment Using a Multicriteria Methodology for Maintenance Planning, *Journal of Infrastructure Systems*, 23(4), S/N. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000362](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000362)

Pooley, C.G., Horton, D., Scheldeman, G., Mullen, C., Jones, T. e Tight, M. (2014) You Feel Unusual Walking: the Invisible Presence of Walking in Four English Cities, *Journal of Transport & Health*, 1(4), 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.07.003>

TRL (Transportation Research Laboratory) (2003) Pedestrian Environment Review System, Crowthorne, U.K.

ANEXO

DEC-FCTUC • Checklist para avaliação do desempenho dos passeios

Passeio nr.: _____ Comprimento do passeio (metros): _____ Data: _____ Hora: _____

Rua: _____

1 ↑. Largura útil média do passeio Metros: _____

2 ↑. Conforto do pavimento (0-inadequado, 1-pobre, 2-razoável, 3-bom, 4-muito bom) 0 1 2 3 4

3 ↑. Conservação do passeio (0-inadequado, 1-pobre, 2-razoável, 3-bom, 4-muito bom) 0 1 2 3 4

Na avaliação deste item, considerar frequência e extensão de:

- Desníveis no pavimento (> 13 mm)
- Buracos no pavimento
- Fendas no pavimento (fenda: > 13 mm)
- Inclinação no sentido transversal
- Raízes das árvores salientes

4 ↑. Acessibilidades

Altura e conservação do lancil (0-inadequado, 1-pobre, 2-razoável, 3-bom, 4-muito bom) 0 1 2 3 4

Visibilidade e sinalização vertical dos atravessamentos (0-4 escala como acima) 0 1 2 3 4

Número de atravessamentos 0 1 2 Mais: _____

Número de rampas de acesso 0 1 2 Mais: _____

5. Segurança face ao tráfego

5.1 ↑. Largura média da zona tampão Metros: _____

5.2. Tipo de zona tampão (assinalar as aplicáveis)..... Nada/ciclovia Árvores Pins/arbustos Estacionamento

5.3 ↓. Volume de tráfego (0-nenhum, 1-tranquilo, 2-normal, 3-intenso, 4-muito intenso) 0 1 2 3 4
(nenhum: estrada restrita.)

6 ↑. Iluminação (0-inadequada, 1-fraca, 2-razoável, 3-boas, 4-muito boas) 0 1 2 3 4

7 ↓. Densidade dos obstáculos (0-nenhuma, 1-baixa, 2-tolerável, 3-considerável, 4-elevada) 0 1 2 3 4

Na avaliação deste item, considerar frequência e extensão de:

- Publicidade
- Mobiliário/árvores/candeeiros fora do sítio
- Veículos estacionados
- Outros

8 ↑. Ambiente no trajeto

Vegetação (0-nenhuma, 1-escassa, 2-razoável, 3- adequada, 4-abundante) 0 1 2 3 4

Número de zonas/bancos de descanso 0 1 2 Mais: _____

Número de caixotes do lixo 0 1 2 Mais: _____

9 ↓. Densidade do fluxo de peões (nível de serviço HCM, hora de ponta) A B C D E F

Nível A - Possível caminhar livremente sem interferência com outros peões.

Nível B - Os peões podem caminhar à velocidade desejada mas começam a dever ter em atenção, no seu percurso, outros peões.

Nível C - Conflitos menores para andar para trás ou movimento cruzado.

Nível D - Elevada probabilidade de conflitos para andar para trás ou movimento cruzado.

Nível E - Movimento para a frente só possível à vez; andar para trás e movimento cruzado muito difícil; capacidade do passeio muito perto do seu limite.

Nível F - Contacto inevitável com outros; andar para trás e movimento cruzado praticamente impossível; a fluidez da circulação é esporádica e irregular.