

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

Versão final após defesa

Sandro Alfaro Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Sistemas de Informação Geográfica
(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Bertha Maria Batista dos Santos

janeiro de 2022

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à minha mãe e ao Mário pelo apoio incondicional e por me proporcionarem todas as condições e suporte ao longo do meu trajeto universitário, colmatando com o Mestrado em SIG na UBI.

Agradeço à professora Bertha pela total disponibilidade que demonstrou no apoio e ajuda na elaboração da dissertação.

Agradeço aos meus colegas de turma, em especial à Andreia e à Pollyanna, pelo convívio, apesar da adversidade trazida pela pandemia.

De um modo geral, agradeço a todos que, de forma direta ou indiretamente, contribuíram para o bom porto da dissertação e do Mestrado.

Resumo

A mudança para uma mobilidade de baixas emissões, incorporada numa necessidade crescente de desenvolvimento sustentável, tornam os modos suaves numa alternativa de transporte altamente promovida nas políticas de mobilidade nacional e internacional. Os fatores que podem influenciar a adoção de modos suaves nas viagens diárias urbanas podem ser agrupados em quatro subcategorias: fatores demográficos, económicos, de distância e tempo, e físicos e climáticos. O objetivo principal deste trabalho é automatizar os vários processos necessários para calcular um Índice de Potencial de Mobilidade Suave, representativo da mobilidade pedonal e ciclável em deslocamentos pendulares, utilizando a funcionalidade *ModelBuilder* disponível no *software* ArcGIS. As ferramentas resultantes pretendem apoiar os gestores do espaço urbano na definição de estratégias de mobilidade sustentável e na alocação de recursos. As variáveis consideradas na análise do potencial de mobilidade são a localização dos polos geradores de viagens, a densidade populacional e as características da rede viária (classificação hierárquica e inclinação das vias e a existência de passeios). Para atingir os objetivos foram elaboradas duas ferramentas em ambiente SIG. Uma que permite calcular o tempo de percurso em bicicleta convencional, elétrica e a pé de cada troço da rede analisada (em minutos), cujo resultado suporta a criação da *Network Dataset*, e outra que calcula, através de uma análise multicritério espacial, os índices de *walkability*, *bikeability* (convencional e elétrica) e o potencial de mobilidade suave de cada troço da rede. As ferramentas foram testadas e validadas pela aplicação das mesmas a um caso de estudo, a rede viária do perímetro urbano da cidade da Covilhã. Os resultados mostram que 16,3% das vias no perímetro urbano do município da Covilhã são classificadas com um potencial razoável a muito elevado para a mobilidade pedonal. Para a mobilidade em bicicleta convencional, as vias com potencial razoável a muito elevado sobe para 29,4%, já para a deslocação em bicicleta elétrica esse valor é de 38,7%. Combinando o potencial pedonal com o potencial em bicicleta convencional e, uma distribuição de pesos de 50% para cada modo, 18,6% da rede apresenta aptidão razoável a muito elevada para a mobilidade suave. Considerando a combinação do potencial pedonal e o potencial em bicicleta elétrica, esse valor sobe para 23,4%.

Palavras-chave

Sistemas de Informação Geográfica (SIG); *ModelBuilder* (ArcGIS); Análise Multicritério Espacial; Mobilidade Suave; *Walkability*; *Bikeability*.

Abstract

The shift to low-emission mobility, embedded in a growing need for sustainable development, makes soft modes a highly promoted transport alternative in national and international mobility policies. Factors that can influence the adoption of soft modes for urban commuting can be grouped into four subcategories: demographic, economic, distance and time, and physical and climatic factors. The main objective of this work is to automate the various processes necessary to calculate a Soft Mobility Potential Index, representative of pedestrian and cycling mobility in commuting, using the ModelBuilder functionality available in ArcGIS software. The resulting tools are intended to support urban space managers in defining sustainable mobility strategies and allocating resources. The variables considered in the analysis of the mobility potential are the location of the trip generating poles, the population density and the characteristics of the road network (hierarchical classification and gradient of the roads and the existence of sidewalks). To achieve the goals, two tools were developed in a GIS environment. One that allows to calculate the travel time by walk and by conventional and electric bicycle for each section of the analyzed network (in minutes), whose result supports the creation of the Network Dataset, and another that calculates, through a multi-criteria spatial analysis, the walkability, bikeability (conventional and electric) and the soft mobility potential indexes of each section of the network. The tools were tested and validated by applying them to a case study, the road network of the urban perimeter of the city of Covilhã. The results show that 16,3% of the roads in the urban perimeter of the municipality of Covilhã are classified as having a reasonable to very high potential for pedestrian mobility. For mobility on a conventional bicycle, routes with reasonable to very high potential rise to 29,4%, whereas for travel on an electric bicycle this value is 38,7%. Combining pedestrian potential with conventional bicycle potential and a weight distribution of 50% for each mode, 18.6% of the net has a reasonable to very high aptitude for soft mobility. Considering the combination of pedestrian and electric bicycle potential, this figure rises to 23.4%.

Keywords

Geographic Information Systems (GIS); ModelBuilder (ArcGIS); Spatial Multi-criteria Analysis; Soft Mobility; Walkability; Bikeability.

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

Índice

Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Acrónimos e Siglas.....	xxii
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e objetivo.....	1
1.2 Estrutura da dissertação.....	4
2 Políticas e estratégias de mobilidade suave.....	5
2.1 Na Europa.....	5
2.2 Em Portugal.....	11
3 Índices de mobilidade pedonal e ciclável.....	18
3.1 Fatores que influenciam a mobilidade suave.....	18
3.2 Índices de mobilidade pedonal - <i>Walkability</i>	19
3.3 Índices de mobilidade pedonal - <i>Bikeability</i>	22
3.1.1 Seleção das variáveis e pesos.....	25
3.1.2 Consideração da população idosa, crianças e de pessoas com necessidades especiais.....	25
3.1.3 Propósito da deslocação.....	26
3.1.4 Variáveis qualitativas.....	26
3.1.5 Variáveis de microescala.....	27
3.1.6 Distância euclidiana vs Distância de tempo.....	27
3.4 <i>Walkability vs Bikeability</i>	28
4 Automatização de processos com recurso a SIG.....	30
4.1 <i>ModelBuilder</i> (ArcGIS)	30
4.2 Aplicações do <i>ModelBuilder</i> na análise de infraestrutura de transportes..	35
5 Metodologia.....	43
5.1 Descrição geral.....	43
5.2 Variáveis.....	46
5.2.1 Variável 1 – Características da rede viária.....	46
5.2.2 Variável 2 – Polos geradores de viagens.....	46
5.2.3 Variável 3 – Densidade populacional.....	47
5.2.4 Resumo das variáveis utilizadas.....	47
5.3 Ferramenta 1 – Tempo de percurso pedonal e em bicicleta convencional e elétrica.....	48
5.3.1 Desenvolvimento da ferramenta.....	48
5.3.2 <i>Interface</i> da ferramenta.....	56

5.4 Ferramenta 2 – Índice de Potencial de Mobilidade Suave (IPMS).....	57
5.4.1 Desenvolvimento da ferramenta.....	58
5.4.2 <i>Interface</i> da ferramenta.....	63
6 Caso de estudo.....	67
6.1 Enquadramento.....	67
6.2 Dados.....	70
6.3 Tratamento das variáveis.....	71
6.3.1 Rede viária.....	71
6.3.2 Polos geradores de viagens.....	75
6.3.3 Densidade populacional.....	88
6.4 Cálculo dos índices de <i>walkability</i> e <i>bikeability</i>	90
6.5 Cálculo do índice de potencial de mobilidade suave.....	98
6.6 Discussão de resultados.....	104
7 Considerações finais.....	105
Bibliografia.....	108
Anexos.....	119
Anexo 1: Modelo da Ferramenta 1: Tempo de percurso a pé e em bicicleta convencional e elétrica.....	119
Anexo 2: Modelo da Ferramenta 2: IPMS.....	119
Anexo 3: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> convencional (70/30)	120
Anexo 4: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> convencional (60/40)	121
Anexo 5: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> convencional (40/60)	122
Anexo 6: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> convencional (30/70)	123
Anexo 7: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> elétrica (70/30)	124
Anexo 8: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> elétrica (60/40)	125

Anexo 9: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> elétrica (40/60)	126
Anexo 10: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação <i>walkability</i> + <i>bikeability</i> elétrica (30/70)	127
Anexo 11: Inquérito.....	128
Anexo 12: Respostas de autárquicas (esquerda) e especialistas (direita) ao inquérito.....	129

Lista de Figuras

Figura 1 – Grupos de trabalho PUM (Fonte: PUM, 2018).....	7
Figura 2 – Estratégia para a mudança a longo prazo de comportamentos relativos à mobilidade (Fonte: PMBC, 2019).....	8
Figura 3 – Representação da Cidade de 15 minutos (Fonte: Paris en Commun, 2020).....	11
Figura 4 – Formas de uso das ferramentas ArcGIS.....	31
Figura 5 – Elementos constituintes dos modelos.....	31
Figura 6 – <i>Precondition</i>	32
Figura 7 – Propriedades do modelo – parte 1.....	32
Figura 8 – Propriedades do modelo – parte 2.....	32
Figura 9 – Parâmetros do modelo.....	33
Figura 10 – Propriedades gerais do modelo.....	33
Figura 11 – Parte do modelo desenvolvido no trabalho realizado pelo Departamento de Transporte e Estradas Principais da Austrália (Fonte: King, 2016).....	36
Figura 12 – Fluxograma presente no trabalho de Papa et al. (2018) (Fonte: Papa et al., 2018).....	37
Figura 13 – Parte do modelo desenvolvido no trabalho realizado por Wu & Tseng (2018) (Fonte: Wu & Tseng, 2018).....	38
Figura 14 – Modelo desenvolvido no trabalho realizado Nadi & Murad (2019) (Fonte: Nadi & Murad, 2019).....	39
Figura 15 – Modelo desenvolvido no trabalho realizado realizado por Ma & Zhang (2020) (Fonte: Ma & Zhang, 2020).....	40
Figura 16 – Metodologia adotada na avaliação do potencial de mobilidade suave de redes viárias.....	44
Figura 17 – <i>Tobler's Hiking Function</i> (Fonte:).....	52
Figura 18 – Fórmula polinomial para o cálculo da velocidade de circulação em bicicleta convencional (com base nas medições efetuadas por Flugel et al., 2019).....	53
Figura 19 – Fórmula polinomial para o cálculo da velocidade de circulação em bicicleta elétrica (com base nas medições efetuadas por Flugel et al., 2019).....	53
Figura 20 – Metodologia para a atribuição de velocidades a considerar na Ferramenta 1.....	54
Figura 21 – Ferramenta 1 – Tempo de percurso pedonal e em bicicleta convencional e elétrica.....	54
Figura 22 – Processo 1 da Ferramenta 1: seleção de velocidades.....	55

Figura 23 – Processo 2 da Ferramenta 1: extração da informação do MDT para o cálculo do declive dos troços da rede.....	56
Figura 24 – Processo 3 da Ferramenta 1: cálculo da velocidade (km/h) pedonal.....	56
Figura 25 – <i>Interface</i> da Ferramenta 1.....	57
Figura 26 – Tabela de atributos resultante da aplicação da Ferramenta 1.....	57
Figura 27 – Ferramenta 2: Índice de Potencial de Mobilidade Suave (IPMS).....	60
Figura 28 – Processo 1 da Ferramenta 2: criação das áreas de serviço relativas à deslocação pedonal.....	61
Figura 29 – Processo 2 da Ferramenta 2: criação dos polos geradores referentes à deslocação em bicicleta elétrica.....	62
Figura 30 – Processo 3 da Ferramenta 2: passagem dos resultados para a rede viária.....	63
Figura 31 – <i>Interface</i> da Ferramenta 2 – parte 1.....	64
Figura 32 – <i>Interface</i> da Ferramenta 2 – parte 2.....	65
Figura 33 – <i>Interface</i> da Ferramenta 2 – parte 3.....	65
Figura 34 – Tabela de atributos resultante da aplicação da Ferramenta.....	66
Figura 35 – Enquadramento geográfico da área de estudo (limites administrativos atuais) (Fonte: CAOP, 2019).....	67
Figura 36 – Enquadramento geográfico da área de estudo (limites administrativos antigos) (Fonte: Passos, 2018).....	68
Figura 37 – Hierarquia viária da rede do perímetro urbano do Município da Covilhã.....	72
Figura 38 – Declive da rede viária do perímetro urbano do Município da Covilhã.....	74
Figura 39 – Presença de passeios na rede viária do perímetro urbano do Município da Covilhã.....	75
Figura 40 – Principais equipamentos do concelho da Covilhã, por categoria de equipamento.....	78
Figura 41 – Valor da variável polos geradores de viagem para os equipamentos de comércio considerando a deslocação pedonal.....	80
Figura 42 – Valor da variável polos geradores para os equipamentos de comércio considerando a deslocação em bicicleta convencional.....	81
Figura 43 – Valor da variável polos geradores para os equipamentos de comércio considerando a deslocação em bicicleta elétrica.....	82
Figura 44 – Valor da variável polos geradores (valores não normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação pedonal.....	83
Figura 45 – Valor da variável polos geradores (valores não normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta convencional.....	84

Figura 46 – Valor da variável polos geradores (valores não normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta elétrica.....	85
Figura 47 – Valor da variável polos geradores (valores normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação pedonal.....	86
Figura 48 – Valor da variável polos geradores (valores normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta convencional.....	87
Figura 49 – Valor da variável polos geradores (valores normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta elétrica.....	88
Figura 50 – Densidade populacional no perímetro urbano do município da Covilhã.....	89
Figura 51 – Densidade populacional (valores normalizados) no perímetro urbano do município da Covilhã.....	90
Figura 52 – Agregação das variáveis da densidade populacional e polos geradores de viagem para a deslocação pedonal.....	92
Figura 53 – Agregação das variáveis da densidade populacional e polos geradores de viagem para a deslocação em bicicleta convencional.....	93
Figura 54 – Agregação das variáveis da densidade populacional e polos geradores de viagem para a deslocação em bicicleta elétrica.....	94
Figura 55 – Potencial de mobilidade pedonal (<i>walkability</i>).....	95
Figura 56 – Potencial de mobilidade em bicicleta convencional (<i>bikeability</i>).....	96
Figura 57 – Potencial de mobilidade em bicicleta elétrica (<i>bikeability</i>).....	97
Figura 58 – Distribuição da classificação do potencial de mobilidade pedonal e em bicicleta convencional e elétrica.....	98
Figura 59 – Resultados do IPMS para a combinação <i>walkability + bikeability</i> (convencional).....	101
Figura 60 – Resultados do IPMS para a combinação <i>walkability + bikeability</i> (elétrica).....	101
Figura 61 – Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação 50% <i>walkability + 50% bikeability</i> convencional.....	102
Figura 62 – Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação 50% <i>walkability + 50% bikeability</i> elétrica....	103

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Bons exemplos de promoção da deslocação suave – parte 1 (Fonte: PASTA project, 2017).....	9
Tabela 2 – Bons exemplos de promoção da deslocação suave – parte 2 (Fonte: PASTA project, 2017).....	10
Tabela 3 – Rede ciclável existente e prevista, em Portugal Continental – parte 1 (Fonte: Fundo Ambiental / IMT, 2018).....	14
Tabela 4 – Metas de 2025 e 2030 no âmbito da mobilidade suave (Fonte: ENMAC 2020-2030, 2019).....	15
Tabela 5 – Revisão literária dos índices de <i>walkability</i> (parte 1).....	20
Tabela 6 – Revisão literária dos índices de <i>walkability</i> (parte 2).....	21
Tabela 7 – Revisão literária dos índices de <i>bikeability</i> (parte 1).....	23
Tabela 8 – Revisão literária dos índices de <i>bikeability</i> (parte 2).....	24
Tabela 9 – Características dos índices de <i>walkability</i> e <i>bikeability</i>	28
Tabela 10 – Análise SWOT dos índices de <i>walkability</i> e <i>bikeability</i>	29
Tabela 11 – Iteradores disponíveis no <i>ModelBuilder</i> (Fonte: ESRI, 2021).....	33
Tabela 12 – Ferramentas singulares ao ambiente do <i>ModelBuilder</i> (Fonte: ESRI, 2021).....	34
Tabela 13 – Revisão literária do uso do <i>ModelBuilder</i> em estudos do âmbito das vias de comunicação – parte 1.....	40
Tabela 14 – Revisão literária do uso do <i>ModelBuilder</i> em estudos do âmbito das vias de comunicação – parte 2.....	41
Tabela 15 – Variáveis utilizadas no modelo proposto.....	48
Tabela 16 – Revisão bibliográfica da velocidade de circulação a pé e em bicicleta – parte 1.....	49
Tabela 17 – Revisão bibliográfica da velocidade de circulação a pé e em bicicleta – parte 2.....	50
Tabela 18 – Revisão bibliográfica da velocidade de circulação a pé e em bicicleta – parte 3.....	51
Tabela 19 – Pontuação atribuída às áreas de serviço em função do tempo de percurso.....	58
Tabela 20 – Meios de transporte mais utilizados nos movimentos pendulares da população em Portugal.....	69
Tabela 21 – Duração média dos movimentos pendulares da população em Portugal e no município da Covilhã.....	69

Tabela 22 – Resumo dos dados utilizados.....	71
Tabela 23 – Velocidade dos elevadores da área de estudo.....	73
Tabela 24 – Principais equipamentos do concelho da Covilhã – parte 1.....	76
Tabela 25 – Principais equipamentos do concelho da Covilhã – parte 2.....	77
Tabela 26 – Pesos (relevância) por categoria de equipamento.....	79
Tabela 27 – Pesos atribuídos às variáveis consideradas.....	99
Tabela 28 – Resultados do IPMS.....	100

Lista de Siglas e Acrónimos

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AI	<i>Artificial Intelligence</i>
AGODA	<i>Architectural barriers act accessibility Guidelines; Outdoor Developed Areas</i>
ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
BGRI	Base Geográfica de Referenciação de Informação
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CCV	Compromisso para o Crescimento Verde
CDC	<i>Center for Disease Control and prevention</i>
CM	Câmara Municipal
CNU	<i>Congress for the New Urbanism</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura
DGT	Direção-Geral Território
DP	Densidade Populacional
ECF	<i>European Cyclists' Federation</i>
ELTIS	<i>European Local Transport Information Service</i>
ENDS	Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável
ENMAC	Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável
ENMAP	Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Pedonal
EQI	<i>Environmental Quality Index</i>
ETRS89	<i>European Terrestrial Reference System 1989</i>
GIS-MCDA	<i>Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Systems</i>
GPIA	Gabinete de Planeamento, Inovação e Avaliação
GRP	Gabinete de Relações Públicas
GWR	<i>Geographically Weighted Regression</i>
ha	hectare
Hab	Habitante
IMT	Instituto da Mobilidade e Transportes
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPMS	Índice de Potencial de Mobilidade Suave
km ²	Quilómetros quadrados
MDT	Modelo Digital do Terreno
min	minutos
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
OD	Origem - Destino
ONU	Organização das Nações Unidas
OSM	<i>Open Street Map</i>
PDM	Plano Diretor Municipal
PG	Polos Geradores
PMUS	Planos de Mobilidade Urbana Sustentável
PUM	<i>Partnership for Urban Mobility</i>
RV	Rede Viária
SIG	Sistemas de Informação Geográfica

SQL	<i>Structured Query Language</i>
SUMP	<i>Sustainable Urban Mobility Plan</i>
SUT	<i>Sustainable Urban Transport</i>
SWOT	<i>Strenghts, Weaknesses, Oportunities, Threats</i>
TMR	<i>Transport Main Roads</i>
UBI	Universidade da Beira Interior
UE	União Europeia
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VAL	Vias de Acesso Local
VC	Vias Coletoras
VDL	Vias Distribuidoras Locais
VDP	Vias Distribuidoras Principais

1. Introdução

1.1 Enquadramento e objetivo

A importância dos modos suaves de transporte tem estado cada vez mais na ordem de trabalhos das políticas nacionais e internacionais de transportes, simultaneamente com o crescente interesse nas questões ambientais e na necessidade de corresponder à estratégia da União Europeia no desenvolvimento urbano sustentável, incorporada num dos desafios essenciais: a mudança para uma mobilidade de baixas emissões (Comissão Europeia, 2019a). No campo ambiental, em Portugal, o setor dos transportes representa cerca de 1/4 das emissões de gases com efeito de estufa (ENMAC 2020-2030, 2019), fazendo de Portugal um país com necessidade de investimento no âmbito da mobilidade suave.

Para além da contribuição para a sustentabilidade e neutralidade carbónica, o uso dos transportes suaves acarreta vários outros benefícios: faz bem à saúde, fortalece a economia e cria emprego e promove a cidadania (ENMAC 2020-2030, 2019). Maior mobilidade suave também leva a cidades menos congestionadas e poluídas, sonora e atmosféricamente.

A Resolução da Assembleia da República nº3/2009, de 23 de Janeiro (Assembleia da República, 2009) define os modos suaves como “modos de transporte não motorizados, estando incluídos nesta definição o “andar a pé”, a bicicleta, o *skate*, os patins em linha e outros congéneres”.

Os modos suaves de transporte mais comuns, e considerados neste estudo, são a deslocação pedonal (“andar a pé”) e em bicicleta. Os modos suaves, para além dos benefícios supracitados, são também mais eficazes (rápidos) em áreas urbanas em distâncias até 4 km no caso da bicicleta convencional e até 1 km no caso pedonal (TransLink, 2011). Outro estudo, com foco nos Países Baixos (Nina Schaap, 2016), aponta para a eficácia destes transportes para trajetos até 7,5 km para a bicicleta convencional, 10 km para as bicicletas elétricas (*e-bike*) e 2,5 km para a deslocação pedonal.

De acordo com o Plano de promoção da bicicleta e outros modos suaves 2013-2020 (IMT e GPIA, 2012a), cerca de metade dos trajetos urbanos têm menos de 3 km, pelo que a correlação entre a eficiência e a utilização de modos suaves fica aquém do esperado.

Para responder às necessidades relativas à descarbonização da mobilidade, em 2019 foi publicada a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020-2030 (ENMAC 2020-2030, 2019). No mesmo sentido, a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Pedonal 2020-2030, não publicada à data, mas prevista para o futuro próximo, tem o objetivo de responder a este desafio no âmbito pedonal. Ambos têm a intenção de promover os modos de mobilidade suave, vistos como uma mais-valia económica, social e ambiental, e alternativa real ao automóvel. Visam valorizar o uso da bicicleta e a deslocação pedonal, preferencialmente integradas no sistema de transportes, com acesso direto aos serviços e equipamentos

disponíveis no espaço urbano, bem como o acesso aos terminais e interfaces do transporte público, oferecendo novas redes integradas num sistema multimodal.

Em Portugal, em comparação com a União Europeia, as deslocações suaves apresentam menor relevância na repartição modal. Segundo o Plano de promoção da bicicleta e outros modos suaves 2013-2020 (IMT/ GPIA, 2012a), em 2010, na União Europeia as deslocações em bicicleta representavam em média 7,4%, já em Portugal a percentagem é de 1,6%.

Segundo a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável (ENMAC 2020-2030, 2019), em 2014 a bicicleta era vista como o principal meio de transporte por apenas 1% da população, onde apenas o país de Malta apresentava valores mais baixos na UE. Andar a pé era considerado o principal modo de transporte por 23% da população portuguesa (ENMAC 2020-2030, 2019), contudo, ainda longe da deslocação automóvel, principal modo para 47% da população.

Num inquérito do IMT (IMT, 2021), os participantes indicaram o ordenamento do território e a cultura/mentalidade como os principais motivos (25% cada) para explicar o baixo número de deslocações em bicicleta. O uso de transporte individual (18%), qualidade das infraestruturas (17%), intermodalidade (6%), segurança (6%), informação/divulgação (2%), orografia (1%) e condições climáticas (0,2%) são outros motivos apresentados.

Os SIG podem contribuir com informação valiosa para o apoio à decisão no âmbito da mobilidade, permitindo, objetivamente, sustentar e aprimorar as medidas que venham a ser implementadas. Por outro lado, análise multicritério é um método de apoio à decisão que permite quantificar a influência de cada variável, permitindo moldar e adaptar o resultado conforme as características e os objetivos das entidades envolvidas na gestão da mobilidade. Assim, análise multicritério baseada nos SIG (*Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Systems* ou GIS-MCDA) permite conciliar a integração de dados espaciais, o conhecimento e a visão dos envolvidos na gestão e promoção da mobilidade (Malczewski, 2007). Esta abordagem habitualmente aplicada no cálculo do potencial pedonal e/ou ciclável (Duncan et al., 2011; Reyer et al., 2014; Glazier et al., 2014; Motta, 2017; Passos, 2018; Nogueira, 2020), traduzido por índices globais designados de índices de *walkability* (pedonal) e *bikeability* (em bicicleta).

O procedimento para o cálculo dos índices de *walkability* e *bikeability* são, de um modo geral: introdução dos dados, análise espacial e de redes, análise multicritério espacial, uniformização de valores, cálculo final e calibração.

Os fatores habitualmente ponderados na análise multicritério dos índices de *walkability* e *bikeability* podem ser categorizados do ponto de vista geométrico, espacial e do ordenamento do território. O primeiro refere-se às infraestruturas e características da estrada, como a largura da estrada e/ou passeio, de modo a perceber a viabilidade para a construção, inclusão ou partilha do tráfego de ciclistas, ou a sua aptidão para a deslocação pedonal. Espacialmente, o Modelo Digital do Terreno (MDT), e consequentemente o declive, juntamente com a densidade

populacional são também muito relevantes e considerados na grande maioria dos estudos (Frank et al., 2005; Lee & Moudon, 2006; Owen et al., 2007; Frank et al., 2010; Duncan et al., 2011; Glazier et al., 2012; Coffee et al., 2013; Urrego et al., 2013; Reyer et al., 2014; Glazier et al., 2014; Krenn et al., 2015; Stockton et al., 2016; Motta, 2017; Habibian & Hosseinzadeh, 2018; Passos, 2018; Arellana et al., 2020; Tran et al., 2020; Nogueira, 2020). Do ponto de vista do planeamento e ordenamento do território, os aspetos a considerar, na sua maioria, estão disponíveis e não requerem levantamento de dados no terreno, como a localização dos equipamentos e polos geradores (Lee & Moudon, 2006; Duncan et al., 2011, Glazier et al., 2012; Glazier et al., 2014; Habibian & Hosseinzadeh, 2018; Passos, 2018; Nogueira, 2020). Na avaliação do potencial pedonal e ciclável, é da máxima importância identificar os principais polos geradores de viagens, como espaços comerciais, equipamentos de educação (escolas, universidades), saúde (centro de saúde, hospital), ou interfaces de transporte (paragens de autocarro, central de camionagem, estação de comboio), e as principais ligações derivadas dos mesmos. Também interessa identificar as zonas urbanas com grande diversidade de uso (centros históricos, ruas comerciais) e outros polos de lazer.

De notar, no entanto, que os dados carecem sempre de validação, como, por exemplo, a confirmação e correção da conectividade dos troços da rede viária ou a necessidade de adicionar troços originalmente não dispostos na rede inicial.

As variáveis a considerar e o peso atribuído a cada uma dependerão sempre dos objetivos definidos na análise e das características da área de estudo. Em cidades de encosta, como é o caso da Covilhã, área de estudo do presente trabalho, o fator declive, que influencia o tempo que levará a percorrer cada troço, tem forte influência no valor final de um índice representativo do potencial de mobilidade suave.

Embora, quando disposto desta forma, o fluxo pareça simples e acessível, não denota a dificuldade envolvida na obtenção e preparação dos dados pontuais (e.g., equipamentos), poligonais (e.g., densidade populacional) e, sobretudo, lineares (e.g., rede viária), que apesar de disponíveis *online*, carecem sempre de correção e validação atenta. Destaca-se ainda a diversidade da origem dos dados, que, consoante o número de variáveis utilizadas, requerem o recurso a várias fontes (e.g., geofabrik, INE, DGT, etc.).

Face ao exposto, o processo de automatização das diferentes etapas descritas através da funcionalidade de programação por objetos disponibilizada em programas de SIG, apresenta vantagens significativas ao nível do tempo despendido nas análises, na replicabilidade e flexibilidade de aplicação dos modelos desenvolvidos com este objetivo.

A ESRI disponibiliza, no *software* ArcGIS, a ferramenta *ModelBuilder*, definida como uma aplicação para criar, editar e gerir modelos (ESRI, 2021a). Estes modelos são constituídos por uma sequência de ferramentas de geoprocessamento em que o resultado (*output*) é utilizado como *input* noutra ferramenta, seguindo assim uma sequência de processos. Desta forma, o

ModelBuilder permite automatizar e acelerar processos, é de fácil utilização e permite que as ferramentas criadas possam ser usadas em Python *scripts*.

O objetivo principal deste trabalho é automatizar e documentar os vários processos envolvidos numa abordagem multicritério espacial para calcular um Índice de Potencial de Mobilidade Suave, representativo da mobilidade pedonal e ciclável, utilizando a funcionalidade *ModelBuilder* do ArcGIS.

As ferramentas resultantes pretendem apoiar e auxiliar os gestores do espaço urbano na definição de estratégias de mobilidade sustentável e na alocação de recursos.

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em sete capítulos, descritos abaixo.

O primeiro capítulo faz o enquadramento do tema e expõe os objetivos do trabalho e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo retrata as políticas e estratégias de mobilidade, no contexto europeu e nacional. São também apresentados alguns bons exemplos neste âmbito.

O terceiro capítulo discorre os conceitos de *walkability* e *bikeability*, analisando a literatura sobre o tema e estabelecendo uma comparação entre eles. São também expostas as variáveis utilizadas nestes estudos e levantadas algumas questões sobre a temática.

O quarto capítulo apresenta alguns conceitos referentes à ferramenta *ModelBuilder*, disponível no *software* ArcGIS. São expostos estudos do domínio da análise de redes cuja metodologia utiliza o *ModelBuilder*.

O quinto capítulo apresenta e explica a metodologia aplicada no presente estudo. Descreve as variáveis consideradas para o cálculo dos índices de *walkability*, *bikeability* e potencial de mobilidade suave. Apresenta também, com ajuda visual, os modelos criados e utilizados no cálculo dos resultados.

O sexto apresenta e enquadra a área de estudo. O capítulo seis mostra também a aplicação da metodologia ao caso de estudo, com a obtenção do potencial da infraestrutura para a mobilidade pedonal, em bicicleta e suave, expondo os resultados obtidos através de gráficos e mapas temáticos.

O nono e último capítulo descreve as principais conclusões, assim como as limitações e propostas de trabalhos futuros.

2. Políticas e estratégias de mobilidade suave

2.1 Na Europa

A União Europeia defende que o crescimento da mobilidade suave, ou com emissões reduzidas, é um dos desafios a enfrentar no domínio dos transportes (Comissão Europeia, 2019a). As medidas para alcançar os objetivos propostos neste campo estão expostas na Estratégia Europeia de Mobilidade Hipocarbónica (Comissão Europeia, 2016a) e refletidas em três propostas legislativas denominadas “Pacotes de mobilidade” (*Mobility Packages*) que datam de 2017 e 2018: *Europe on the Move, Delivering on low-emission mobility* e *Europe on the Move – Sustainable Mobility for Europe* (Comissão Europeia, 2018a).

O panorama atual dos transportes acarreta, de forma direta ou indiretamente, vários malefícios ambientais e outros, como a emissão de gases com efeito de estufa, a poluição do ar, o ruído, o congestionamento e os acidentes rodoviários (Comissão Europeia, 2016a; Diário da República, 2019). Estas alegações estão bem patententes nos dados disponibilizados pela Comissão Europeia (Comissão Europeia, 2018a), onde os transportes representam cerca de 1/3 do consumo de energia e são responsáveis por 24% da emissão de gases com efeito de estufa (2016), sendo a principal causa da poluição atmosférica nas cidades (Comissão Europeia, 2019a). Em Portugal, o uso de energias renováveis nos transportes apresentou uma importante subida entre 2013 e 2015, de cerca de 1% até cerca de 7,5% (Comissão Europeia, 2019a). A Estratégia Europeia de Mobilidade Hipocarbónica (2016) elenca a superior eficiência do sistema de transportes, o uso de energias alternativas de baixa emissividade e a execução de taxas nulas de emissão como ações essenciais para alcançar a neutralidade carbónica. Além dos benefícios que advêm da diminuição da proeminência dos problemas supracitados, o aumento da mobilidade hipocarbónica possibilita também a redução da dependência da Europa da importação de petróleo (Comissão Europeia, 2016a). O desenvolvimento e implementação de medidas que promovam a mobilidade urbana sustentável prevê vários outros benefícios sociais. Promove uma melhor saúde, proveniente da melhoria da qualidade do ar; uma maior segurança, consequência do decréscimo de acidentes rodoviários; o aumento das opções de mobilidade, respondendo às necessidades individuais das pessoas; e a promoção do turismo e da economia local.

O planeamento da mobilidade urbana sustentável assenta significativamente na promoção da mobilidade suave (Comissão Europeia, 2016a), fundamental para responder às metas estabelecidas pelo Acordo de Paris (Comissão Europeia, 2017), a que muitas cidades se comprometeram.

Desde 2005 que a Europa tem favorecido investimentos no âmbito da mobilidade urbana sustentável, com destaque para o pacote de 2013, que visa a afirmação dos Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (SUMP – *Sustainable urban mobility plan*) (ELTIS, 2019). Este plano é

descrito como “um plano estratégico desenhado para satisfazer as necessidades das pessoas e empresários relativamente à mobilidade das cidades e arredores para uma melhor qualidade de vida”. Baseia-se em oito princípios capitais: desenvolvimento de planos para a mobilidade urbana na “área urbana funcional”; cooperação para além das fronteiras institucionais; envolver os cidadãos e outras partes interessadas; avaliar o desempenho atual e futuro; definir uma visão a longo prazo e definir uma implementação do plano de forma clara; desenvolver todos os modos de transporte de forma interrelacionada; organizar a monitorização e avaliação; e assegurar a qualidade dos planos de mobilidade urbana sustentável a implementar.

No âmbito da mobilidade urbana ativa (ou suave), com maior foco no uso da bicicleta, são vários os projetos financiados pela UE que se dedicam a este tema. No panorama europeu, à data da realização deste trabalho, decorrem três, HANDSHAKE, DEPICT, CHIPS, e vinte e dois já se encontram finalizados: FLOW, TRACE, PASTA, Cyclelogistics Ahead, BIKE2WORK, VeloCitta, SWITCH, PTP-CYCLE, STARS, MOBILE2020, CYCLELOGISTICS, CHAMP, Cycle cities, CARMA, BICY, PRESTO, Active Access, OBIS, Life Cycling, Trendy Travel, SpiCycles e BYPAD (Comissão Europeia, 2021).

No que respeita ao Pacto de Amesterdão (Comissão Europeia, 2016b) retrata as principais características na agenda urbana para a União Europeia, de modo a corresponder a um, entre outros, dos objetivos estabelecidos pelas Nações Unidas relativamente ao desenvolvimento sustentável:

“Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable.”

Nas prioridades anunciadas, a mobilidade suave ajuda a solucionar algumas das problemáticas inerentes, como a qualidade do ar, a adaptação climática, a transição energética e a mobilidade urbana sustentável.

Em 2018, os ministros com as pastas do ambiente e dos transportes anunciaram a “Declaração de Graz”, que visa o desenvolvimento de uma estratégia europeia enquadrada em financiamentos direcionados à promoção e integração da mobilidade ativa (Comissão Europeia, 2018b). Ainda, a Parceria para a Mobilidade Suave (PUM, 2018) estabeleceu quatro grupos de trabalho: governança e planeamento; transporte público; mobilidade ativa e espaço público; e novos serviços de mobilidade e inovação (figura 1). Este plano incorpora o conjunto de parcerias da UE para alcançar os objetivos da agenda europeia na temática da mobilidade suave.



Figura 1 - Grupos de trabalho PUM (Fonte: PUM, 2018)

Estas quatro categorias elencam várias ações, apresentadas no Plano de Ação PUM (PUM, 2018). No tema Mobilidade Ativa e Espaço Público, é referida a inexistência de diretrizes europeias relativamente às infraestruturas catalisadoras da deslocação suave (“andar a pé” e deslocação em bicicleta). Nesse sentido, o desenvolvimento de um conjunto de orientações, que considere também as necessidades da população vulnerável e/ou com mobilidade reduzida, aplicáveis ao panorama europeu, foi considerado inevitável. A investigação e desenvolvimento de aplicações no âmbito do planeamento espacial, para além da questão de *design*, é também recomendado.

O Plano de Ação PUM alerta também para a carência de características ideais para a deslocação a pé ou com recurso a bicicleta, alertando para a existência de “redes incompletas, desvios desnecessários, superfícies inadequadas, inexistência ou má sinalização, insuficientes travessias pedonais ou inconveniência das mesmas e o tempo de espera em locais com sinalização luminosa” (PUM, 2018). Muitas das lacunas remetem para a segurança, ou falta da mesma, como sendo a principal barreira para a afirmação da mobilidade suave nas deslocações pendulares (PUM, 2018).

A disseminação da informação é também essencial para acompanhar as mudanças desejáveis na mobilidade urbana, pois está provado ser um ingrediente importante para maximizar o impacto desejável no âmbito da mudança dos modos de deslocação, para modos suaves, como o modo pedonal e ciclável (Comissão Europeia, 2018a). Esta categoria engloba também a recolha sistemática de informação comportamental dos cidadãos relativamente à mobilidade (e.g. preferência, barreiras, perceção). Na mesma lógica, as escolas, empresas e outros polos geradores de viagens devem ser os impulsionadores das medidas a tomar.

No contexto comportamental, o relatório *Promoting Mobility Behaviour Change* (Comissão Europeia, 2019b), que conta com o apoio da Fundação Walk21, desenvolve essa perspetiva. O relatório defende que a mudança dos hábitos de mobilidade depende de aspetos subjetivos e

objetivos, fazendo com que a alteração se desenrole apostando na difusão de informação, na atratividade de tais alterações e nos incentivos mais objetivos ou estruturais (e.g., existência de ciclovias). A figura 2 expõe o processo de longo prazo de mudança de comportamento ao que às viagens concerne.

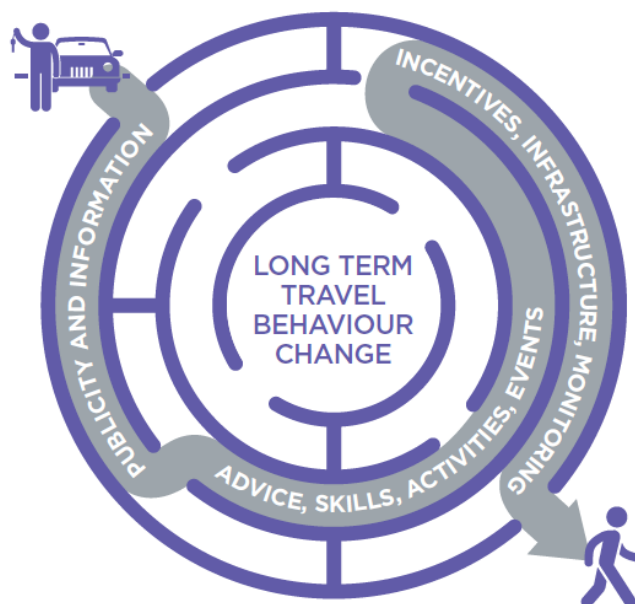


Figura 2 - Estratégia para a mudança a longo prazo de comportamentos relativos à mobilidade (Fonte: PMBC, 2019)

Mais recentemente, em 2020, a Comissão Europeia apresentou a Estratégia da Mobilidade Inteligente e Sustentável (*Sustainable and Smart Mobility Strategy*), que tem em vista os quatro anos seguintes (Comissão Europeia, 2020). Resume-se em três palavras: sustentável (*Sustainable*), inteligente (*Smart*), e resiliente (*Resilient*), aspetos essenciais que vão ao encontro do objetivo estabelecido no Acordo Verde Europeu (*Green Deal*), que prevê o corte de emissões em 90% até 2050 (Comissão Europeia, 2020).

A sustentabilidade promove os transportes de zero emissões e o uso de combustíveis renováveis e de baixo carbono, o bem-estar proveniente da mobilidade urbana e interurbana, o transporte de carga ecológica, e os incentivos aos utilizadores. A inteligência assenta na mobilidade multimodal conectada e automática e na inovação através, mas não só, do uso de Inteligência Artificial (*AI - Artificial Intelligence*). A resiliência tenciona reforçar o mercado único, tornar a mobilidade justa para todos e torná-la mais segura.

Nas várias iniciativas apresentadas, assim como em outras existentes, verificou-se que o conceito de *walkability* aparenta ser secundário quando comparado com o de *bikeability*. Neste contexto, para a União Europeia, o aumento do uso da bicicleta aparenta ser mais imperativo que o aumento da deslocação pedonal.

Bons exemplos europeus de promoção da mobilidade suave

O Projeto PASTA, financiado pela UE, elaborou em 2017, um manual que lista alguns dos bons exemplos europeus no contexto da promoção da deslocação ativa (pedonal e de bicicleta). As características analisadas são os aspetos inovadores, o potencial para valorizar a atividade física e promover a mobilidade ativa, a cooperação institucional e entre setores, e o valor que produz (PASTA project, 2017). Os casos de estudo expostos no relatório estão localizados no Reino Unido, Dinamarca, Suécia e França, sendo apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Bons exemplos de promoção da deslocação suave – parte 1 (Fonte: PASTA project, 2017)

Local	Nome	Benefícios/ Objetivos	Resultados
Londres, Reino Unido	<i>The Healthy Streets Approach</i>	Melhorar a qualidade do ar, criar zonas de tráfego de velocidade reduzida (30 km/h), reduzir o impacto das colisões rodoviárias.	Atingir em 2041 80% (64% em 2017) das deslocações em Londres nos modos pedonal, através do uso da bicicleta ou dos transportes públicos.
Bristol, Reino Unido	<i>How public health specialists can change transport planning</i>	Implementar áreas de velocidade reduzida (30 km/h), aumentar a segurança rodoviária, aumento da informação que retrata a relação entre a saúde e os transportes.	Entre 2001 e 2011 a quantidade de pessoas que usam a bicicleta para as deslocações para o emprego aumentou 94%, e as que se deslocam a pé 40%.
Copenhaga, Dinamarca	<i>Cycle Superhighways</i>	Aumento de 30% do número de ciclistas e das distâncias percorridas.	Redução anual de aproximadamente 856 toneladas de CO ₂ , <i>superavit</i> de mil milhões de euros, mais 3 milhões de viagens anuais de bicicleta, menos 720 mil viagens anuais de carro, redução de 34 mil dias anuais de baixa médica.

Tabela 2 - Bons exemplos de promoção da deslocação ativa – parte 2 (Fonte: PASTA project, 2017)

Local	Nome	Benefícios/ Objetivos	Resultados
Birmingham, Leeds, Bradford e Norwich, Reino Unido	<i>The Walking Cities programme</i>	7000 pessoas participaram num conjunto de ações que tencionavam incentivar a deslocação pedonal. Depois disso, 49% disseram ser mais provável andarem em detrimento de outros modos de transporte.	Melhorar a atividade física de crianças em idade pré-escolar e do ensino primário e melhorar a saúde mental e a coesão da comunidade em certas áreas.
Gotemburgo, Suécia	<i>Improving accessibility to transport</i>	Desenvolver um plano de gestão, desenvolver princípios de planeamento, promover diálogo entre organizações de apoio às pessoas com dificuldade de locomoção e outros parceiros de consultoria.	Melhoria das acessibilidades aos transportes públicos. Aumento da atividade física da população idosa.
Estrasburgo, Grenoble, Rennes e Nantes, França	<i>Cycling kilometric allowance</i>	O uso da bicicleta pessoal para a deslocação para o emprego resulta numa insenção de contribuições num valor calculado em função do número de kms percorridos, num máximo de 200€ anuais.	Nas 18 empresas testadas, o número de ciclistas ativos subiu em 50%.

Ainda no âmbito europeu tem-se destacado o conceito das “Cidades de 15 minutos”. A “Cidade de 15 minutos” pode ser definida como uma cidade que responde às necessidades dos residentes, num perímetro de 15 minutos a pé ou de bicicleta (CNU, 2021). Este conceito ganhou notoriedade através da campanha de reeleição de Anne Hidalgo como presidente da Câmara Municipal de Paris. Uma das medidas de campanha relatava que os residentes conseguissem responder às necessidades diárias, através da deslocação pedonal ou em bicicleta (W2G, 2020) (figura 3). As necessidades podem ser entendidas como as relacionadas com a educação, trabalho, pequenos arranjos, comércio local, lazer, cultura, saúde, transportes, desporto e alimentação (W2G, 2020, adaptado de “Paris en Commun”).

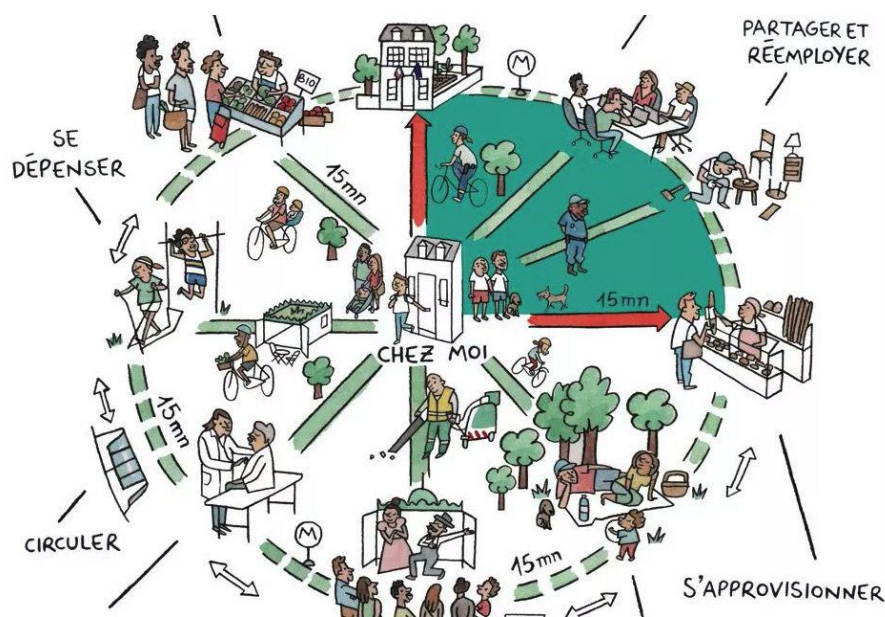


Figura 3 - Representação da Cidade de 15 minutos (Fonte: Paris en Commun, 2020)

Estes objetivos desafiam o planeamento urbano tradicional, com áreas separadas consoante a temática (e.g., áreas residuais, comerciais, serviços, etc.). Uma “Cidade de 15 minutos” necessita de espaços de circulação orientados para peões e ciclistas, com espaços verdes, e onde os carros são a exceção. Também favorece a utilização múltipla dos equipamentos e o comércio local (W2G, 2020).

De notar que estas medidas são de difícil implementação em cidades com expansão urbana superior e com densidades populacionais mais baixas. A localização de equipamentos na periferia tende a dificultar a implementação desta estratégia (W2G, 2020).

As “Cidades de 15 minutos” acarretam várias vantagens: são socioeconomicamente justas; a necessidade de transporte é reduzida; a mobilidade ativa proporciona maior bem-estar e saúde; oferecem maior acessibilidade aos serviços; e poupam tempo (CNU, 2021). No entanto, algumas críticas ao modelo são apontadas por Pozoukidou & Chatziyiannaki (2021), que defendem que este tipo de núcleo e concentração de serviços pode levar ao aumento do valor imobiliário e, conseqüentemente, à gentrificação, com deslocação para a periferia de famílias com menores rendimentos.

2.2 Em Portugal

No que diz respeito ao quadro nacional, em 2007 foi aprovada a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável – 2015 e o respetivo Plano de Implementação (ENDS 2015, 2007). A estratégia lista sete objetivos de ação: preparar Portugal para a “Sociedade do Conhecimento”; crescimento sustentado, competitividade à escala global e eficiência energética; melhorar o ambiente e valorização do património; mais equidade, igualdade de oportunidades e coesão

social; melhorar a conectividade internacional do país e a valorização equilibrada do território; um papel ativo de Portugal na construção europeia e na cooperação internacional; e uma administração pública mais eficiente e modernizada. O mesmo plano refere que uma mobilidade mais sustentável nos centros urbanos é imperativo para um crescimento económico mais eficiente no uso da energia e dos recursos naturais.

Ainda no campo legislativo, em 2012, incorporado no Pacote de Mobilidade e enquadrando-o, foram estabelecidas um conjunto de “Diretrizes Nacionais para a Mobilidade” (IMT/ GPIA, 2012b). Estas diretrizes definem a Estratégia Nacional de Mobilidade e indicam os instrumentos e planos para a sua execução, refletindo-se em onze alíneas: definir e garantir níveis adequados de acessibilidade oferecida pelo sistema de transportes a todos os cidadãos; estabelecer uma configuração eficiente do sistema de acessibilidades; sustentação económica como garante da estabilidade da oferta; melhorar a qualidade de vida dos cidadãos pela redução dos impactos negativos da mobilidade (sociais, ambientais e económicos); criar boas condições para os modos não motorizados, particularmente para o peão; promover um uso racional dos modos individuais motorizados; assegurar serviços de transportes públicos de boa qualidade e com características técnicas adequadas à procura; integração das políticas de usos do solo e de transportes; promover a integração física, tarifária, lógica e institucional dos diferentes componentes do sistema de mobilidade; melhorar a informação aos cidadãos sobre o sistema de transportes e mobilidade; e assegurar a participação pública nos processos de decisão associados à mobilidade.

No campo do desenvolvimento sustentável, importa destacar o Compromisso para o Crescimento Verde (CCV), anunciado em 2015 (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e da Energia, 2014). Este documento estratégico tem por objetivo promover o crescimento económico com base na utilização eficiente de recursos, na proteção ambiental e na justiça, fazendo de Portugal uma referência do ponto de vista do crescimento verde. O documento elenca catorze objetivos quantificados para 2020 e 2030, de entre os quais se destacam os relacionados com a mobilidade: aumentar a utilização de transportes públicos; reduzir as emissões de CO₂; e melhorar a qualidade do ar.

Também em 2015, foi aprovado em Conselho de Ministros a estratégia “Cidades Sustentáveis 2020” (DGT, 2015). A estratégia visa desenvolver o território para além da dimensão física do espaço urbano, através do desenvolvimento económico, inclusão social, educação, participação e proteção do ambiente.

Na área específica da mobilidade importa destacar a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020-2030 (ENMAC 2020-2030, 2019), aprovada a 2 de agosto de 2019, e a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Pedonal 2020-2030. Este plano contribui para alcançar os objetivos traçados no âmbito da sustentabilidade ambiental, que visa desenvolver a transição energética e valorizar o território, através da redução das emissões de gases com efeito de estufa e da procura da neutralidade carbónica (ENMAC 2020-2030, 2019). A estratégia

tenciona equiparar Portugal aos países mais desenvolvidos nesta prática, e com isso “maximizar benefícios para a saúde das populações, retirar carros das ruas, devolver o espaço público, aliviar o congestionamento urbano, baixar os níveis de ruído e reduzir a poluição atmosférica.” (ENMAC, 2019). O plano está também incorporado nas metas do Acordo de Paris e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável declarados pela ONU (ONU, 2021).

Face ao apresentado, é possível que Portugal tem vindo a progredir no investimento na mobilidade ativa ciclável. O Plano para a Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves (IMT/GPIA, 2012b) elaborado em 2012 serviu de suporte a várias medidas de promoção deste modo de transporte, como o projeto *Portuguese Trails*, orientado para atrair turistas, que incorpora e sinaliza percursos pedestres e de ciclismo.

No setor educativo, o projeto ‘O Ciclismo vai à Escola’ e o programa U-BIKE, este segundo no âmbito universitário, tencionam informar, influenciar e induzir ao uso da bicicleta como meio de transporte (ENMAC 2020-2030, 2019). Destaca-se também o projeto MOBI-AGE, com foco na mobilidade suave dos mais idosos (Citta - Centro de investigação do território, transportes e ambiente, 2021).

Também nos Planos Estratégicos de Desenvolvimento Urbano é perceptível o aumento do investimento na promoção dos modos suaves/ cicláveis (ENMAC 2020-2030, 2019). Em 2030, Portugal tenciona dispor de uma rede ciclável de aproximadamente 7660 km (ENMAC 2020-2030, 2019). A tabela 3 apresenta a rede ciclável prevista até 2030. À escala dos municípios, os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) tencionam alterar os padrões do planeamento do transporte, através da cooperação entre a administração pública e o setor privado. No entanto, a sua elaboração não é de natureza obrigatória, sendo Portugal o único país do sul da Europa sem legislação nesse sentido (ZERO, 2020).

Tabela 3 - Rede ciclável existente e prevista, em Portugal Continental (Fonte: ENMAC 2020-2030, 2019)

NUTS III	Ciclovias Existentes (km)	Rede 2030 (km)	Representatividade existente em relação ao previsto (%)
Área Metropolitana de Lisboa	273	1793 (+ 557 %)	15,2
Região de Aveiro	249	919 (+ 369 %)	27,1
Oeste	213	289 (+ 35 %)	73,7
Área Metropolitana do Porto	178	603 (+ 239 %)	29,5
Terras de Trás-os-Montes	175	224 (+ 28 %)	78,1
Viseu Dão Lafões	133	247 (+ 86 %)	53,8
Alto Minho	124	263 (+ 112 %)	47,1
Região de Leiria	115	273 (+ 137 %)	42,1
Região de Coimbra	87	418 (+ 380 %)	20,8
Tâmega e Sousa	43	156 (+ 263 %)	27,6
Alto Tâmega	41	376 (+ 817 %)	10,9
Douro	35	134 (+ 283 %)	26,1
Lezíria do Tejo	34	276 (+ 812 %)	12,3
Alentejo Litoral	31	481 (+ 1452 %)	6,4
Médio Tejo	23	43 (+ 87 %)	53,5
Ave	16	242 (+ 1413 %)	6,6
Alto Alentejo	12	39 (+ 225 %)	30,8
Baixo Alentejo	6	51 (+ 750 %)	11,8
Alentejo Central	0	158	0
Cávado	0	261	0
Algarve	254	287 (+ 13 %)	88,5
Beira Baixa	7	26 (+ 271 %)	26,9
Beiras e Serra da Estrela	14	101 (+ 621 %)	13,9

Contudo, e apesar da crescente promoção e investimento, no panorama europeu, Portugal continua mal posicionado. A *European Cyclists Federation* classificou Portugal, numa lista com 28 países, como o segundo país com menores condições para pedalar, sendo também o segundo país em que a população menos usa a bicicleta como principal modo de transporte (cerca de 1%) (Eurobarómetro, 2014, citado pela ENMAC 2020-2030, 2019).

O modelo conceptual de implementação da Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável (ENMAC 2020-2030, 2019) baseia-se em 4 pilares: enquadramento e legislação; investigação e desenvolvimento; monitorização e avaliação; e financiamento. Esta implementação é especialmente inevitável nas cidades, pela sua orientação para o automóvel. Nos requisitos enunciados para atingir os objetivos da estratégia estão, entre outros, o foco nas crianças e jovens em idade escolar e nas pessoas com deficiência.

As metas propostas concentram-se no aumento da quota modal de viagens em bicicleta no território nacional e nas cidades, na extensão total de ciclovias (tabela 4) e na redução da sinistralidade rodoviária envolvendo ciclistas. A concretização destas metas dependem da construção, localização e manutenção de vias e do reforço de políticas de prevenção de risco rodoviário e evolução nos métodos de recolha de dados (ENMAC 2020-2030, 2019). A tabela 4 apresenta as metas relativas à mobilidade ciclável a alcançar até 2025 e 2030.

Tabela 4 - Metas de 2025 e 2030 no âmbito da mobilidade suave (Fonte: ENMAC 2020-2030, 2019)

Objetivos	Metas 2025	Metas 2030
Quota modal de viagens em bicicleta no território nacional (%)	3	7,5
Quota modal de viagens em bicicleta nas cidades (%)	4	10
Extensão total de ciclovias (km)	5 000	10 000
Redução da sinistralidade rodoviária de ciclistas (%)	25	50

A ENMAC prevê três eixos de intervenção: infraestruturas e intermobilidade; capacitação e apoio; e cultura e comportamentos.

O primeiro quer tornar a mobilidade suave fácil, através de infraestruturas adequadas. Para isso pressupõe desenvolver e aplicar um guia de normas nacionais para intervenções físicas, privilegiar e promover a implementação de intervenções ligeiras, eliminar discontinuidades e obstruções nas vias para ciclistas, generalizar medidas de acalmia de tráfego em zonas urbanas, tornar as interseções para ciclistas seguras e confortáveis, massificar a instalação de estacionamento de bicicleta, facilitar a mobilidade suave em zonas urbanas, criar e mapear redes cicláveis intermunicipais de excelência, e promover percursos cicláveis para desporto e lazer. No campo da intermobilidade, a estratégia prevê intervir junto dos operadores de transporte público e fomentar a implementação de sistemas públicos de bicicletas partilhadas.

A capacitação e apoio incorpora a intervenção junto de peões, ciclistas e automobilistas, através de um conjunto de medidas que tencionam formar e envolver a população nas questões rodoviárias e da mobilidade suave. A fiscalização de incumprimentos legais e regulamentares será conseguido através da promoção da dimensão preventiva no cumprimento do Código da Estrada e do aumento do número de agentes da autoridade de bicicleta. No campo dos incentivos, refletem-se na implementação de medidas de apoio à aquisição de bicicletas e no incremento dos benefícios para entidades públicas e privadas.

Em matéria de cultura e comportamentos, a promoção forte da cultura de mobilidade suave prevê promover a “Visão Zero” na sinistralidade envolvendo velocípedes, criar oportunidades de reconhecimento, intervir junto dos jovens em idade escolar, promover mudança de comportamentos em grupos específicos da população, criar uma plataforma de comunicação

digital integrada, incentivar e apoiar a realização de eventos e iniciativas populares, e promover campanhas publicitárias e ativar parcerias.

Todas estas medidas necessitam de constante monitorização e avaliação.

Apesar de um aparente maior destaque de medidas orientadas para a componente ciclável, a componente pedonal tem também vindo a ganhar atenção e destaque. Esta suposta negligência do modo pedonal provém, também, do facto das medidas serem destinadas à mobilidade suave, como um todo, embora o modo ciclável possua objetivos mais definidos e detalhados. Medidas mais concretas serão estabelecidas aquando da publicação da Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Pedonal 2020-2030 (ENMAP), indisponível à data do presente trabalho. A estratégia prevê fortalecer a relação entre a deslocação pedonal e os outros modos suaves e com o transporte coletivo.

Nesse sentido, medidas como a implementação de zonas cuja velocidade máxima é de 20 km/h ou 30 km/h, denominadas “Zonas 20/ Zonas 30”, que têm como principal objetivo melhorar a qualidade de vida do espaço, ajudam no incentivo da deslocação pedonal, em especial da população jovem e idosa (ANSR, 2019).

Bons exemplos portugueses

Apesar da má posição de Portugal no panorama europeu ao que à mobilidade suave concerne, dispõe de alguns bons exemplos nessa matéria. Aveiro é líder nacional na visão do uso diário da bicicleta, no entanto, destaca-se sobretudo como grande fabricante europeu de bicicletas e acessórios de bicicleta (ECF, 2016). A região de Aveiro, movido pela quase ausência de declive, tem uma quota modal de uso da bicicleta entre 10% e 17%, bastante acima da média nacional (ver tabela 4) (ECF, 2016).

Também Lisboa possui uma visão ambiciosa através, mas não restringido, à construção de ciclovias e outras infraestruturas relacionadas, como o estacionamento. Para além da cidade lisboeta, o paradigma vira-se também para a ligação entre Lisboa e os municípios adjacentes (ECF, 2016).

Em menor escala, cidades como Braga, Maia, Murtosa, Ílhavo, Peniche, Torres Vedras, Cascais, Barreiro, Seixal, Elvas, Évora, Sines, Loulé, São Brás de Alportel e Vila Real de Santo António têm implementado infraestruturas de apoio à mobilidade em bicicleta (ECF, 2016).

No âmbito do sistema de bicicletas partilhadas, Aveiro e Lisboa destacam-se. Os sistemas de bicicletas públicas partilhadas BUGA de Aveiro conta com duzentas e quatro bicicletas e vinte estações. Esta medida está integrada no Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano da Cidade de Aveiro no âmbito da estratégia “Aveiro Tech City” (CM Aveiro, 2020).

Em Lisboa, o sistema público de bicicletas partilhadas GIRA está implementado desde 2017. Entre a sua implementação, em setembro de 2021, e junho de 2021 foram registadas 3,2 milhões

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

de viagens, sendo que a população com idade compreendida entre os 20 e 35 anos representa a maioria dos utilizadores. Em 2019, foram feitas, em média, treze viagens por dia com duração de quinze minutos (CM Lisboa, 2021).

3. Índices de mobilidade pedonal e ciclável

3.1 Fatores que influenciam a mobilidade suave

São vários os fatores que podem influenciar a adoção de modos suaves como o pedonal e o ciclável, podendo ser agrupados em quatro sub-categorias: fatores demográficos (McMillan & Tracy, 2007; Copperman & Bhat 2009; Gilbert & O'Brien, 2010; Mitra et al., 2010), económicos (Soltani & Allan, 2006), físicos e climáticos (Hanbali & Kuemmel, 1993; Changnon & Stanley, 1996; Hassan & Barker, 1999; Knapp & Smithson, 2000; Hofmann & O'Mahony, 2005; Agarwai & Burchett, 2006; Guo et al., 2007; Datla & Sharma, 2010; Call & David 2011; Tang & Thakuria, 2012;), e de distância e tempo (Pardo et al., 2005; Fenge et al., 2013; Zgonc et al., 2019).

Os fatores demográficos representam características como a idade, onde vários estudos indicam que a percepção do ambiente varia com a mesma (McMillan & Tracy, 2007; Mitra et al., 2010; Carver et al., 2010) e conseqüentemente influenciam a escolha do modo de deslocação. Verifica-se ainda que as pessoas idosas tendem a recorrer menos aos veículos motorizados (Iftekhar & Tapsuwan, 2010) e os jovens até aos 16 anos estão impossibilitados de conduzir ciclomotores.

Nos fatores económicos, o rendimento apresenta especial relevância, uma vez que influencia diretamente a escolha do modo de transporte utilizado. Em geral, um maior rendimento está associado ao uso do veículo motorizado particular.

Os fatores físicos dizem respeito às características que facilitam ou dificultam a deslocação, sejam características do terreno (e.g., declive), sejam geométricas (e.g., largura do passeio) (Lee & Moudon, 2006; Urrego et al., 2013; Krenn et al., 2015; Motta, 2017; Passos, 2018; Arellana et al., 2020; Nogueira, 2020; Tran et al., 2020).

Os fatores climáticos têm também influência na forma de deslocação e estão correlacionados com fatores físicos como o declive. Destaca-se a precipitação, essencialmente a intensa, a temperatura e o vento (Hanbali & Kuemmel, 1993; Changnon & Stanley, 1996; Hassan & Barker, 1999; Knapp & Smithson, 2000; Keay & Simmonds, 2005; Maze et al., 2006; Datla & Sharma, 2010; Call & David 2011). Os fatores climáticos tendem a ter maior influência nos ciclistas do que para quem anda a pé (Garrard et al., 2008; Heinen et al., 2009).

Os fatores da distância e do tempo estão fortemente correlacionados e são os principais fatores que motivam a escolha do modo de transporte (Olsson, 2003). As variáveis a considerar e o peso atribuído a cada uma dependerão sempre do objetivo e das características da área de estudo. Em cidades de encosta, como é o caso da Covilhã, área de estudo do presente trabalho, o fator declive, e conseqüentemente do tempo que levará a percorrer cada percurso, tem forte influência na escolha do modo de transporte a utilizar e por conseqüência deve ser considerado na determinação de um índice representativo do potencial de mobilidade suave.

Para além da variedade de fatores que influenciam o potencial de mobilidade suave, a sua implementação em sistemas de informação geográfica é complexa, tendo em conta que muitos dos fatores mencionados são de difícil obtenção.

Os índices de *walkability* e *bikeability* refletem os fatores que favorecem a deslocação pedonal e de bicicleta, que são habitualmente considerados no cálculo da atratividade de determinada área para caminhar e andar de bicicleta.

3.2 Índice de mobilidade pedonal - *Walkability*

De acordo com a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR, 2014), o peão é “qualquer pessoa que transite na via pública a pé ou que conduza à mão velocípedes de duas rodas sem carro atrelado, carros de crianças ou de pessoas com deficiência motora, carros de mão ou que utilize patins, trotinetas ou outros meios de circulação análogos sem motor, cadeiras de rodas equipadas com motor elétrico e velocípedes nos passeios, desde conduzidos por crianças até aos 10 anos e que não ponham em perigo ou perturbem os outros peões”.

A variedade de campos científicos que investigam o tema, mostra a complexidade da problemática e como a mesma pode ajudar a solucionar aspetos da vida cotidiana e outros de maior complicação e impacto. A panóplia de fatores que influenciam a caminhabilidade, abrangendo uma variedade de campos de estudos, põe a claro a necessidade de equipas igualmente multidisciplinares a trabalharem na temática. Essa fórmula permitirá, também, alcançar outros resultados e responder a mais problemas, como prever o impacto de algumas alterações na diminuição dos níveis de obesidade.

Walkability, ou caminhabilidade, pode ser definido a partir de diversas perspetivas. A Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020-2030 (ENMAC 2020-2030, 2019) define caminhabilidade como a “apreciação subjetiva diretamente relacionada com a qualidade do espaço público, e que se refere à atratividade de uma área para as pessoas que se deslocam a pé”. A qualidade do espaço é representada por vários fatores que influenciam a facilidade, atratividade e agradabilidade da deslocação a pé.

As variáveis consideradas nos diversos índices de *walkability* são de várias índoles, desde aspetos utilitários, como os relacionados com a distância e tempo do percurso assim como os principais equipamentos ou serviços, passando por fatores de microescala relacionados com as características da rede, como a largura do passeio, até variáveis qualitativas de difícil avaliação, como aspetos paisagísticos e estéticos. Dos estudos encontrados na bibliografia da especialidade e analisados (ver tabelas 5 e 6), foi identificada uma escassez de apoio visual dos métodos utilizados, sobretudo em ambiente SIG.

Tabela 5 - Revisão literária dos índices de *walkability* - parte 1

Autores (ano)	Área de estudo	Método	Variáveis consideradas	Inovação
Frank et al. (2005)	Atlanta (EUA)	z-score	- Densidade de interseções - Densidade residencial - Uso do solo	-
Lee & Moudon (2006)	Seattle (EUA)	Regressão logística multinomial	- Uso do solo - Equipamentos - Presença de passeios - Volume de tráfego - Presença de árvores - Densidade residencial - Declive	Diferença entre andar como modo de transporte ou atividade recreativa.
Owen et al. (2007)	Adelaide (Austrália)	z-score	- Densidade residencial - Conetividade da rede viária - Uso do solo - Área comercial (<i>Net retail area</i>)	-
Frank et al. (2010)	King County e Maryland (EUA)	z-score	- Densidade de interseções - Densidade residencial - Uso do solo - Área comercial total (<i>Retail floor area</i>)	-
Duncan et al. (2011)	4 cidades metropolitanas americanas	Análise multicritério	- Equipamentos por km ² - Distância da rede entre 2 pontos - Densidade de interseções - Número de <i>cul de sacs</i> (estradas sem saída) - Velocidade máxima média - Densidade de autoestradas - Densidade residencial - Densidade populacional	Aborda as fraquezas do <i>Walkscore</i>
Glazier et al. (2012)	Toronto (Canadá)	Análise de componentes principais	- Densidade populacional - Densidade residencial - Lojas de retalho e serviços - Conetividade da rede viária	-

Tabela 6 - Revisão literária dos índices de *walkability* (parte 2)

Autores (ano)	Área de estudo	Método	Variáveis consideradas	Inovação
Coffee et al. (2013)	Adelaide (Austrália)	Soma de decils	- Densidade de interseções - Densidade residencial - Uso do solo - Área comercial (<i>Net retail area</i>)	-
Park et al. (2014)	Califórnia (EUA)	Análise Multicritério	- 3 variáveis de segurança rodoviária - 3 variáveis de segurança criminal - 3 variáveis de conforto - Facilidade de travessia dos peões - Fácil acesso a lojas locais - Variedade visual - Atratividade visual	Considera micro-variáveis.
Reyer et al. (2014)	Estugarda (Alemanha)	Análise Multicritério	- Índice de conectividade - Uso do solo - Área comercial total (<i>Retail floor area</i>) - Densidade domiciliar (<i>Household density index</i>)	-
Glazier et al. (2014)	Toronto (Canadá)	Análise Multicritério	- Densidade populacional - Densidade residencial - Disponibilidade dos destinos - Conectividade da rede viária	-
Stockton et al. (2016)	Londres (Inglaterra)	Método aditivo	- Densidade residencial - Conectividade da rede viária - Uso do solo	-
Habibian & Hosseinzadeh (2018)	Rasht (Irão)	z-score	- 21 variáveis de <i>design</i> - Índice de entropia - Índice Herfindahl - Densidade populacional - 2 variáveis do âmbito da acessibilidade do destino	-
Nogueira (2020)	Covilhã (Portugal)	Análise multicritério espacial	- Localização dos polos geradores de viagem (tempo de percurso) - Densidade populacional - Características da rede viária - Declive	-

Os índices de *walkability* analisados caracterizam-se pelo uso variado de variáveis. Contudo, a densidade populacional e semelhantes, o uso do solo e a localização dos equipamentos são as mais frequentes (Frank et al., 2005; Lee & Moundon, 2006; Owen et al., 2007; Frank et al., 2010; Duncan et al., 2011; Glazier et al., 2011; Coffee et al., 2013; Reyer et al., 2014; Glazier et al., 2014; Stockton et al., 2016; Habibian & Hosseinzadeh, 2018; Nogueira, 2020).

No que à metodologia concerne, a análise multicritério é o método mais utilizado (Duncan et al., 2011; Park et al., 2014; Reyer et al., 2014; Glazier et al., 2014; Nogueira, 2020).

A partir da análise da literatura, são várias as dúvidas que surgem, que são abordadas mais à frente.

3.3 Índice de mobilidade ciclável - *Bikeability*

A definição de ciclista pode ser dividida em três categorias: ciclista frequente, ciclista ocasional e ciclista pouco experiente (IMT/ GPIA, 2011). O primeiro tende a estar em boa forma física e sabe os seus direitos e obrigações; o ciclista ocasional sente-se desconfortável em muitas situações, como a partilhar as vias com tráfego motorizado; e o ciclista pouco experiente apresenta pouco conhecimento dos seus deveres.

O IMT define *bikeability* como a “aptidão dos percursos ou áreas para a deslocação ciclável”. Comparativamente aos índices de *walkability*, os de *bikeability* são mais diversos nos métodos e variáveis utilizadas para a sua determinação. Os fatores com influência no índice de *bikeability* focam-se mais em características da rede e na presença de infraestruturas dedicadas a este modo de transporte.

Como acontece com o índice de *walkability*, também o cálculo do índice de *bikeability* varia entre continentes e países. Isto acontece pela diversidade da perceção da população em relação às componentes que influenciam a sua disponibilidade para o uso da bicicleta. Por exemplo segundo Arellana et al. (2020), generalizado aos países em desenvolvimento do continente americano, o uso da bicicleta está relacionado, sobretudo, aos rendimentos. Os rendimentos baixos empurram as pessoas para o uso da bicicleta, não por escolha mas sim por impossibilidade de recorrer a outras opções de mobilidade.

As tabelas 7 e 8 apresentam a bibliografia analisada dedicada ao índice de *bikeability*. À semelhança dos estudos de *walkability*, também para o caso de estudo dos índices de *bikeability*, a comunidade científica tem recorrido pouco à explicação visual dos processos e resultados, com exceção de Motta (2017).

Tabela 7 - Revisão literária dos índices de *bikeability* (parte 1)

Autores (ano)	Área de estudo	Método	Variáveis consideradas	Inovação
Harkey et al. (1998)	Olympia, Austin e Chapel Hill (EUA)	<i>Bicycle compatibility index</i> (BCI)	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de ciclovias - Largura da ciclovia - Distância ao centro da via - Volume de trânsito - Velocidade do tráfego - Presença de infraestruturas de estacionamento - Uso do solo 	Trata-se de um dos primeiros índices de <i>bikeability</i> .
Urrego et al. (2013)	Cali (Colômbia)	Regressão ponderada	<ul style="list-style-type: none"> - Declive - Qualidade ambiental (índice EQI – <i>Environmental Quality Index</i>) - Qualidade das infraestruturas - Segurança 	Aborda as fraquezas do Índice <i>Walkscore</i>
Krenn et al. (2015)	Graz (Áustria)	Método aditivo	<ul style="list-style-type: none"> - Existência de infraestruturas cicláveis - Ciclovias separadas - Estradas principais com ciclovias paralelas - Topografia - Áreas verdes, ribeirinhas e marítimas 	-
Motta (2017)	Curitiba (Brasil)	Análise Multicritério	<ul style="list-style-type: none"> - Densidade residencial - Uso do solo - Topografia - Segurança - Tipo de infraestruturas 	-
Passos (2018)	Covilhã (Portugal)	Análise Multicritério	<ul style="list-style-type: none"> - Localização dos polos geradores de viagens (tempo de percurso) - Densidade populacional - Características da rede viária - Declive 	-
Chevalier & Xu (2020)	China	Com base no Copenhagenize Index	<ul style="list-style-type: none"> - Perceção e influência das ONG na cidade/ região/ país - <i>Bicycle culture</i> - Infraestruturas cicláveis - <i>Bike-sharing</i> - Posse de bicicletas - Evolução do uso de bicicletas - Perceção da segurança - Aceitação social - Planeamento urbano, conhecimento dos planeadores sobre as melhores práticas internacionais - Moderação de tráfego - Formas urbanas - Micro-economias 	Dá ênfase a aspetos comportamentais e sociais.

Tabela 8 - Revisão literária dos índices de *bikeability* (parte 2)

Autores (ano)	Área de estudo	Método	Variáveis consideradas	Inovação
Arellana et al. (2020)	Barranquilla (Colômbia)	Escolha discreta (<i>discrete choice model</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Distância e tempo de viagem - Clima - Presença de infraestruturas para ciclistas - Qualidade do pavimento - Obstáculos - Declive - Largura das vias - Presença de árvores - Estética dos edifícios - Presença de equipamentos de controlo de tráfego - Tráfego de autocarros, automóveis, motociclos e de peões - Velocidade do transporte motorizado - Presença de oficiais de polícia - Presença de câmaras de segurança - Tráfego de ciclistas - Criminalidade rodoviária, presença de furtos e homicídios na área de estudo 	Modelo de apoio à decisão sobre investimentos na infraestrutura.
Tran et al. (2020)	Singapura	Métodos objetivos e subjetivos	<ul style="list-style-type: none"> - Qualidade do ar - Acessibilidade aos equipamentos - Declive - Sinuosidade dos percursos - Presença de ciclovias - Presença de vegetação - <i>Crowdedness</i>, visibilidade dos obstáculos - Proporção de objetos verticais (e.g., edifícios, árvores) em relação aos horizontais 	Foco na qualidade do ar.
Schmid-Querg et al. (2021)	Munique (Alemanha)	<i>Weighted overlay</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Presença e tipo de infraestrutura - Limite de velocidade - Parques de estacionamento - Qualidade das interseções 	-

Os índices de bikeability examinados destacam-se pelo grande número de variáveis que são, habitualmente, ponderados. Das variáveis, destacam-se, pela sua regularidade, o declive (Urrego et al., 2013; Krenn et al., 2015; Motta, 2017; Passos, 2018; Arellana et al., 2020; Tran et al., 2020) e aspetos relacionados com as infraestruturas cicláveis (Harckey et al., 1998; Urrego et al., 2013; Krenn et al., 2015; Motta, 2017; Chevalier & Xu, 2020; Arellana et al., 2020; Tran et al., 2020; Schmid-Querg et al., 2021).

A metodologia aplicada é diversificada.

3.1.1 Seleção das variáveis e pesos

Apesar do consenso existente em volta da utilização de certas variáveis, toda a panóplia de fatores deve ser reduzida e ajustada à área de estudo e a informação disponível ou passível de ser recolhida (Glazier et al., 2015). Estes aspetos relatam a importância de ter conhecimento da área de estudo. Esse facto permite ter informação atualizada, como locais de obras demoradas, comércio recente, entre outros. O conhecimento da área de estudo permite também ter maior perceção da importância das variáveis a considerar. Nesta ação, para melhorar a definição dos pesos atribuídos às diferentes variáveis, devem ser envolvidos na definição dos mesmos a população, especialistas e responsáveis pela gestão da mobilidade urbana. Este envolvimento pode ser conseguido através da realização de inquéritos.

No estudo desenvolvido por Glazier et al. (2015) foi concluído que a diversidade do uso do solo é irrelevante para o cálculo do índice de *walkability*, apesar do consenso em como é uma variável pertinente nestes estudos. Outra situação importante de relatar reside na disponibilidade e qualidade dos dados a utilizar, levando a seleção das variáveis, por vezes, a dependerem dos dados disponíveis (Glazier et al., 2015).

Também a perceção da população em relação às variáveis e a sua importância diverge. No índice de *bikeability*, uma distinção registada reside na qualidade do ciclista (Pezzuto, 2020, citado por Motta, 2017). Os ciclistas mais experientes dão maior importância a diferentes aspetos do que os ciclistas pouco regulares, que têm a segurança como decisor (Pezzuto, 2020, citado por Motta, 2017). Ainda no âmbito dos índices de *bikeability*, estes estudos tendem a considerar a presença de ciclovias (Urrego et al., 2013; Krenn et al., 2015; Motta, 2017; Arellana et al., 2020; Chevalier & Xu, 2020; Tran et al., 2020; Schmid-Querg et al., 2021).

3.1.2 Consideração da população idosa, crianças e de pessoas com necessidades especiais

Como foi referido, um dos métodos utilizados com regularidade consiste na produção de *buffers* de distância (Krenn et al., 2015; Motta, 2017; Tran et al., 2020), no entanto, as distâncias atribuídas têm por base um consenso generalizado daquilo que são valores razoáveis e médios, e não são moldados à população da área de estudo. Distâncias razoáveis podem não o ser se a

população for muito envelhecida ou muito jovem. As variáveis a utilizar e a sua expressão deve responder às necessidades da população.

Nos índices analisados, destinados a diversas áreas, nenhuma considera as necessidades das pessoas com capacidades reduzidas de deslocação, como as que dependem de cadeira de rodas para se deslocarem. Esta desconsideração está em dissonância com a designação global de *walkability*, ou caminhabilidade. O conceito, de forma lata, refere-se à forma em como o ambiente urbano apresenta condições e características que motivem os peões a moverem-se caminhando, vivenciando uma experiência positiva. A partir desta designação, várias perceções e leituras podem ser retiradas, também sobre a inclusão das pessoas com mobilidade reduzida.

3.1.3 Propósito da deslocação

A deslocação pode ter diferentes propósitos, com destaque para a deslocação pendular e a deslocação de lazer, em que cada uma apresenta características distintas. A primeira procura ser rápida ao alcançar o destino, a segunda procura ser desafiante e agradável, não tendo destino bem definido (Lee & Moudon, 2006).

Esta problemática é abordada por Lee & Moudon (2006), em que são destacadas algumas conclusões que fortalecem esta distinção entre o tipo de deslocação pedonal. Este estudo (Lee & Moudon, 2006) conclui que as colinas apresentam uma correlação positiva com o caminhar recreativo.

O trabalho de Arellana et al. (2020) deixa patente que as variáveis a utilizar no cálculo da *bikeability* dependem, também, do objetivo do estudo, se o mesmo se foca na deslocação recreativa ou pendular e utilitária.

No que respeita ao índice de *bikeability*, o trabalho de Arellana et al. (2020) discorre sobre as questões culturais e sociais, onde refere que o uso da bicicleta apresenta associações distintas consoante o objetivo do seu uso. Refere também que o uso da bicicleta para deslocações pendulares tem uma conotação negativa, associada à pobreza. Esta reflexão não se aplica, no entanto, ao contexto europeu e nacional.

3.1.4 Variáveis qualitativas

Nos aspetos qualitativos, a paisagem está relacionada com uma perceção agradável das redondezas, com a presença de vegetação e de frentes ribeirinhas e marítimas a serem os fatores mais representativos da beleza estética dos espaços (Krenn et al., 2015). A existência de tais aspetos é considerada uma mais-valia que se traduz num acréscimo dos índices de mobilidade suave. As técnicas de deteção remota de classificação de imagens de satélite e manipulação espectral podem responder à necessidade de identificação destas situações, através de métodos como o Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI - *Normalized Difference Water*

Index) e o Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*).

Os fatores estético, de contemplação ou paisagísticos têm maior representatividade nos índices de *bikeability* (Krenn et al., 2015; Arellana et al., 2020). Esta constatação contraria com o expectável, considerando que a velocidade da deslocação pedonal é consideravelmente inferior ao da bicicleta, pelo que os aspetos de contemplação paisagística, como a presença de vegetação e de corpos de água, usufruiriam dessa menor velocidade. Uma tese para a explicação desta abordagem distinta assenta numa categorização inconsciente do uso da bicicleta a atividades desportivas e de lazer. Esta observação está presente e é corroborada na Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável (ENMAC 2020-2030, 2019).

No campo das variáveis difíceis de implementar, encontram-se também fatores periódicos, como é o caso das estações do ano. Neste âmbito entram os fatores da temperatura, precipitação (chuva e neve), sombra, abrigo e escoamento da água.

3.1.5 Variáveis de microescala

Através da revisão literária, foi possível perceber que a escolha das variáveis depende da escala utilizada e do objetivo da deslocação. Tendo em conta que a mesoescala, a nível do centro urbano por exemplo, é habitualmente a escala a que são realizados os estudos, certas variáveis tendem a ser favorecidas, em contraste com fatores mais localizados e detalhistas (Park et al., 2014), como é o caso das características dos passeios. Estas variáveis, chamadas ocasionalmente de variáveis de microescala, são consideradas em estudos que trabalham com menor escala, como o de percursos específicos OD (Origem-Destino).

No entanto, sendo o ato de andar uma micro-atividade (Park et al., 2014), a exclusão deste tipo de características aparenta empobrecer o índice. Apesar desta constatação, a sua não integração nos índices acontece pela necessidade de recolha de dados *in situ*, e, por vezes, medição de atributos qualitativos e subjetivos (Park et al., 2014). Para responder aos vários micro-critérios que definem a “facilidade” de caminhar, o conceito de nível de serviço pedonal foi concebido.

Comparativamente com o índice de *walkability*, o índice de *bikeability* deriva mais de aspetos de microescala, como as características da estrada (e.g., obstáculos). Nesse sentido, a capacidade de calcular este tipo de variáveis é importante, principalmente para o cálculo do índice de *bikeability*. Para calcular estas características diretamente no projeto, a deteção remota aparenta ser a ferramenta mais capaz, mas a sua complexidade torna-a difícil de aplicar.

3.1.6 Distância euclidiana vs Distância de tempo

Outro aspeto a considerar é o uso da distância euclidiana, em rede ou trazida em tempo para a determinação de índices de mobilidade suave. Todas apresentam-se como viáveis e preferíveis consoante o objetivo. A distância é de determinação mais simples, facilitando e acelerando os

cálculos; a distância em rede é mais completa, pois calcula a distância através da rede viária, e, conseqüentemente, representa melhor a realidade; a distância traduzida em tempo é o método mais completo e complexo, sendo o que melhor retrata a realidade. Este último pode ser especialmente útil em cidades de encosta, pelo impacto que o declive tem no tempo de deslocação entre dois pontos.

3.4 *Walkability vs Bikeability*

As diferenças assinaláveis entre o cálculo do índice de *walkability* e o índice de *bikeability* advém, sobretudo, de uma maior consistência existente nas variáveis utilizadas no cálculo do índice de *walkability*. No geral, o índice de *walkability* recorre a um menor número de variáveis para a sua determinação. Como referido anteriormente, o índice de *walkability* tende a utilizar variáveis quantitativas e de mesoescala. As variáveis utilizadas nos índices de *bikeability* são diversificados e com maior atenção a fatores de microescala. A tabela 9 compara as características do índice de *walkability* e de *bikeability*.

Tabela 9 - Características dos índices de *walkability* e *bikeability*

<i>Walkability</i>	<i>Bikeability</i>
+ variáveis de mesoescala	+ variáveis de microescala
Menor utilização de fatores qualitativos	Alguma utilização de fatores qualitativos
Alguma consonância nas variáveis a considerar	Pouca consonância nas variáveis a considerar

A categoria de variáveis utilizadas na determinação do índice de *walkability* é, sobretudo, de índole económica, na base da oferta de serviços. Esta constatação indica que uma das formas de promover a caminhada é impulsionando a economia local.

As variáveis de mesoescala, como o uso e ocupação do solo, e relacionadas com densidades, são dominantes no cálculo dos índices de *walkability*. Utilizam informação disponível e que pode ser obtida através de diversas fontes.

Embora ambos os índices (*walkability* e *bikeability*) tendam a desvalorizar aspetos qualitativos, mais apreciados no âmbito da deslocação de lazer, o índice de *bikeability* aparenta agregar mais este tipo de fatores (Arellana et al., 2020; Chevalier & Xu, 2020). Isto advém, talvez, da associação da bicicleta a atividades recreativas.

O índice de *bikeability* privilegia, em geral, fatores de menor escala, relacionadas com a qualidade das infraestruturas e das estradas e passeios. É informação que em geral não se encontra disponível, e que habitualmente necessita de recolha *in situ*. Este aspeto faz com que o cálculo deste índice se antevja caro e demorado. Contudo, a importância de variáveis

consideradas no cálculo do índice de *walkability*, são igualmente úteis no cálculo do índice de *bikeability*.

Em resumo, o índice de *walkability* é mais simples e acessível, utiliza informação geralmente disponível e recorre com frequência ao cálculo de densidades, e o uso de *buffers* é relatado em alguns casos. O índice de *bikeability* destaca-se pela falta de consenso nas variáveis a utilizar. Sendo andar de bicicleta uma atividade com forte derivação cultural, faz com que seja difícil designar as variáveis mais adequadas no estudo.

A tabela 10 apresenta uma análise SWOT aos índices de *walkability* e *bikeability*.

Tabela 10 - Análise SWOT dos índices de *walkability* e *bikeability*

Walkability		Bikeability	
Forças - Simples; - Consenso nas variáveis a utilizar.	Fraquezas - Uso de distância euclidiana.	Forças - Completo;	Fraquezas - Complexo; - Não há consenso sobre as variáveis a considerar; - Uso de dados muitas vezes indisponíveis.
Oportunidades - Considerar aspetos estéticos e paisagísticos; - Atenção para as pessoas com necessidades especiais.	Ameaças - Envelhecimento da população.	Oportunidades - Considerar aspetos estéticos e paisagísticos; - Maior foco nas bicicletas elétricas; - Maior investimento no uso da bicicleta.	Ameaças - Envelhecimento da população.

Com base na literatura recolhida, é notável um maior uso de certas variáveis, apesar da diversidade de métodos, destacando-se o uso do solo e a densidade populacional. No presente estudo, estes fatores manifestam-se através das variáveis dos polos geradores e da densidade populacional. O fator do declive, relevante para o presente estudo, está presente em oito estudos da literatura analisada, seis no âmbito do índice de *bikeability* (Lee & Moudon, 2006; Urrego et al., 2013; Krenn et al., 2015; Motta, 2017; Passos, 2018; Arellana et al., 2020; Tran et al., 2020; Nogueira, 2020).

4. Automatização de processos com recurso a SIG

Um SIG é uma estrutura que armazena, gere, visualiza, analisa e interpreta dados geográficos, através de ferramentas informática com o objetivo de ajudar a tomar decisões mais ponderadas e sustentadas (CDC, 2019; ESRI, 2021a). É o conjunto de cinco elementos: pessoas/ utilizadores, dados/ informação, análise, *hardware* e *software* (CDC, 2019). O *hardware* assegura o armazenamento de dados, já o *software* permite manipular e analisar a informação.

A tecnologia SIG permite a modelação matemática das relações espaciais e a sua aplicação variada possibilita e favorece a multidisciplinaridade (González et al., 2012).

A automatização de processos pode ser obtido através da funcionalidade *ModelBuilder* disponível no *software* ArcGIS. Os dois capítulos seguintes expõem a utilidade da funcionalidade e a sua utilização no domínio dos transportes.

4.1 *ModelBuilder* (ArcGIS)

O estudo apresentado nesta dissertação tem por objetivo automatizar os processos necessários ao cálculo de índices de potencial pedonal e ciclável, que ponderados resultam num índice de potencial de mobilidade suave. A determinação destes índices é efetuada com recurso a várias etapas de cálculo e representação, albergando vários passos, tornando todo o processo demorado. O processo de automatização do modelo pode ser alcançado através da ferramenta *ModelBuilder*, funcionalidade de programação por objetos disponibilizada pelo *software* ArcGIS. Outros *softwares* SIG disponibilizam funcionalidades semelhantes, como a ferramenta *Graphical Modeler* do *software* QGIS.

A ESRI define o *ModelBuilder* como uma aplicação para criar, editar e gerir modelos (ESRI, 2020). Estes tipos de interfaces utilizam técnicas ‘*drag and drop*’ para criar o fluxograma do modelo (Heywood, Cornelius, & Carver, 2011). Os modelos são uma sequência de ferramentas de geoprocessamento em que o resultado (*output*) de uma ferramenta pode ser utilizado como *input* noutra ferramenta, seguindo assim uma sequência de processos. O *ModelBuilder* pode correr qualquer ferramenta disponível no *ArcToolbox*, inclusive *scripts*, ferramentas customizadas e outros modelos. Este ambiente suporta *geodatabases*, *shapefiles*, tabelas, *coverages*, *rasters* e ficheiros CAD. As ferramentas dispõem de quatro formas de uso: linha de comando, modelo, *script* e a janela de ferramenta (*tool dialog*), no *ModelBuilder* são usadas na forma de modelos (figura 4). A aplicação do *ModelBuilder* é de fácil utilização e as ferramentas criadas podem ser usadas como Python *scripts*.

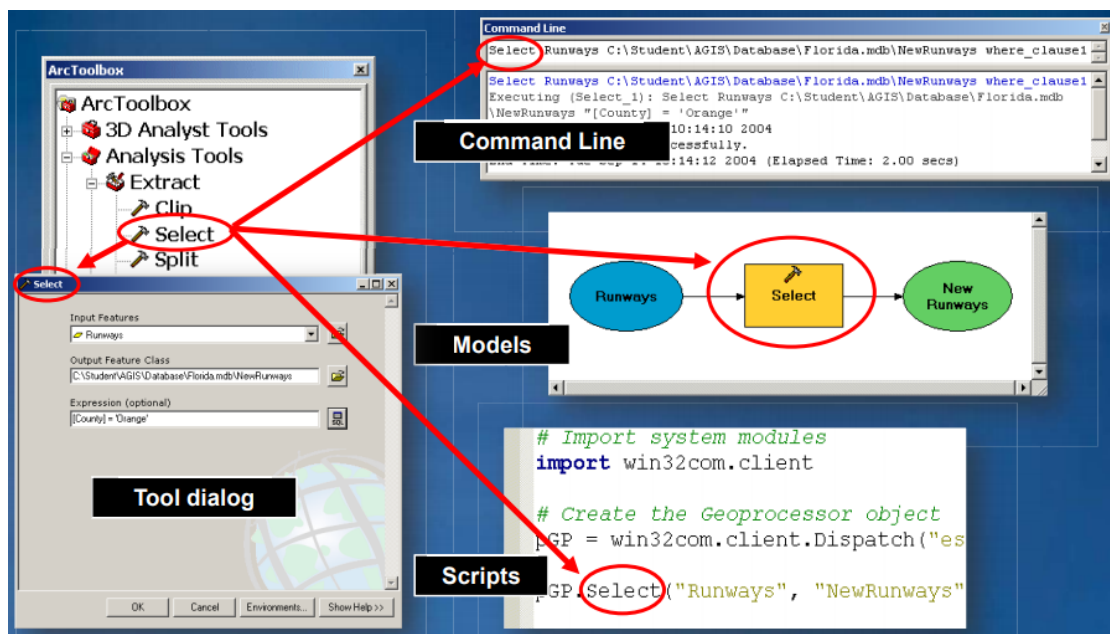


Figura 4 - Formas de uso das ferramentas ArcGIS

Parte principal nos modelos são os elementos constituintes, representados por ferramentas, parâmetros (e.g., *input* e *output*) e conectores (figura 5). Cada elemento tem uma representação distinta: as elipses azuis representam os *inputs* (dados geográficos, valores ou expressões SQL), as elipses verdes representam os *outputs* (dados geográficos ou valores gerados), e os retângulos laranja representam as ferramentas (operações). Os conectores, representados por linhas, ligam os diferentes componentes (*inputs* às ferramentas e estas aos *outputs*) (figura 5). É também possível conectar um *output* a uma ferramenta, indicando que a mesma apenas deverá correr quando esse *output* estiver disponível. Esta operação é designada de *Precondition*, e é representada por uma linha pontilhada (figura 6).

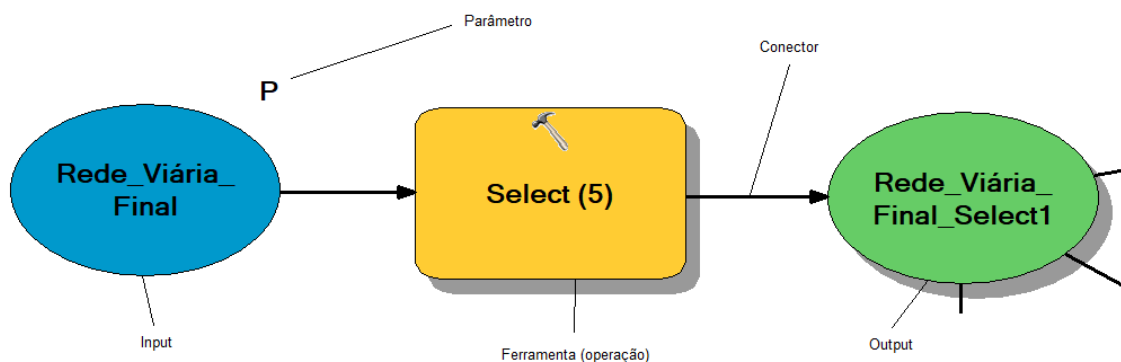


Figura 5 - Elementos constituintes dos modelos

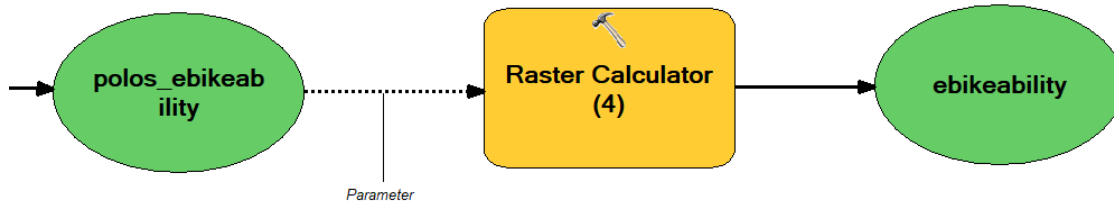


Figura 6 - Precondition

Assinalar os *inputs* como parâmetro (*Model Parameter*, representado pela letra 'P') (figura 7) faz com que seja necessário preencher o valor do parâmetro para a ferramenta ser executada. Nas ferramentas presentes no modelo, é possível, também, seleccionar os *outputs* visíveis na *display* da ferramenta (figura 8), isto é, que seja disponibilizado na tabela de conteúdos (*table of contents*) do projeto. Os *outputs* podem também ser intermediários, com o único propósito de servir de *input* para outra ferramenta. O *ModelBuilder* permite também alterar o nome dos elementos, a ordem com que aparecem os parâmetros, se os mesmos são de preenchimento obrigatório ou opcional e o tipo de dados que irá receber (e.g., vetorial) (figura 9). O nome, legenda e descrição da ferramenta é alterado nas propriedades do modelo (figura 10).

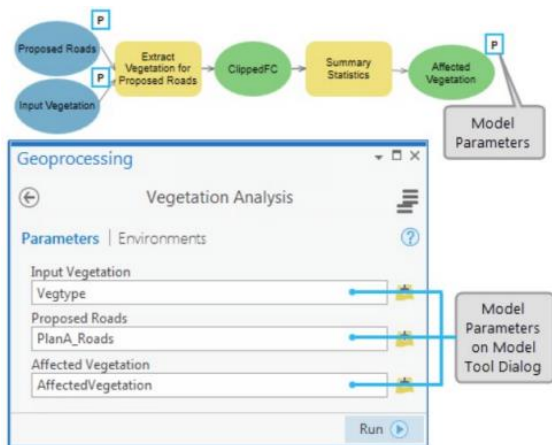


Figura 7 - Propriedades do modelo – parte 1

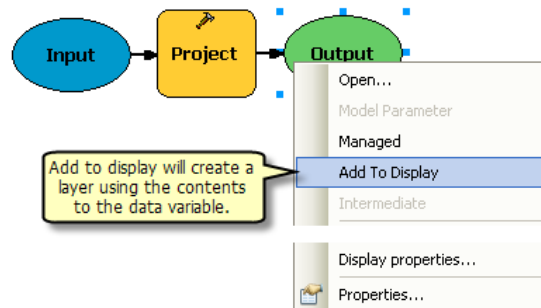


Figura 8 - Propriedades do modelo – parte 2

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

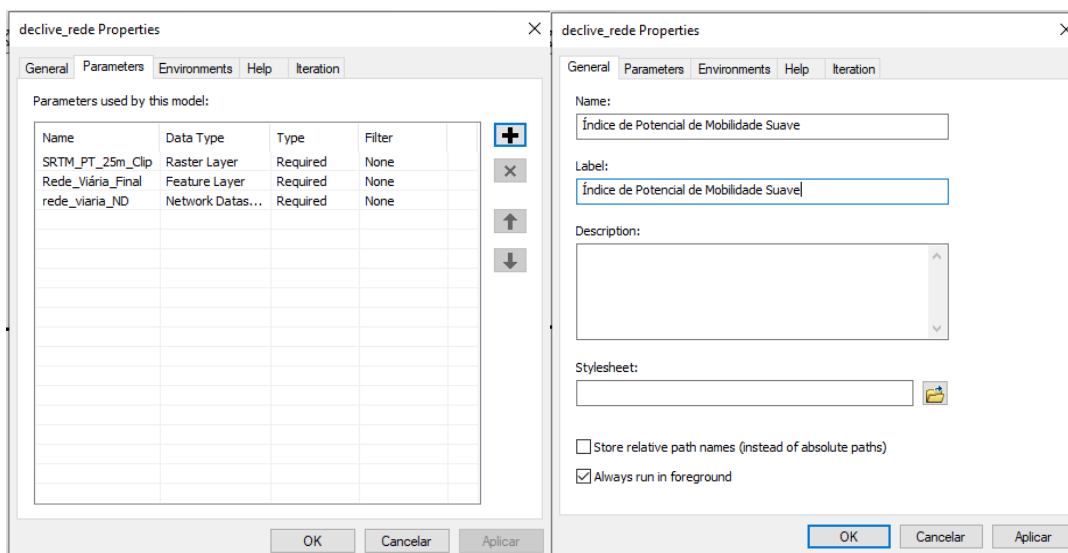


Figura 9 - Parâmetros do modelo

Figura 10 - Propriedades gerais do modelo

No âmbito das ferramentas, importa destacar a existência dos iteradores, que permitem repetir ferramentas e processos em *loop*. O *ModelBuilder* disponibiliza doze iteradores distintos, correspondendo aos apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Iteradores disponíveis no *ModelBuilder* (Fonte: ESRI, 2021)

Iterator	Descrição
<i>For</i>	Repete um determinado número de vezes.
<i>While</i>	Repete até que uma determinada variável ou condição seja respeitada.
<i>Iterate Feature Selection</i>	Repete a ação para cada <i>feature</i> numa <i>feature class</i> ou num grupo de <i>feature</i> com atributos comuns.
<i>Iterate Row Selection</i>	Repete a ação para cada registo numa tabela ou grupo de registos com atributos semelhantes.
<i>Iterate Field Values</i>	Repete a ação para cada valor de um campo.
<i>Iterate Multivalue</i>	Repete a ação para cada valor numa lista de valores de entrada.
<i>Iterate Datasets</i>	Repete a ação para cada <i>dataset</i> num <i>workspace</i> .
<i>Iterate Feature Classes</i>	Repete a ação para cada <i>feature class</i> in a <i>workspace</i> .
<i>Iterate Files</i>	Repete a ação para cada ficheiro numa pasta.
<i>Iterate Rasters</i>	Repete a ação para cada <i>raster</i> num <i>workspace</i> .
<i>Iterate Tables</i>	Repete a ação para cada tabela num <i>workspace</i> .
<i>Iterate Workspaces</i>	Repete a ação em cada <i>workspace</i> numa pasta.

Existe ainda um conjunto de ferramentas circunscritas ao ambiente *ModelBuilder*. No total, são cinco operações que facilitam e estendem as capacidades do modelo, e doze ferramentas de lógica, que ajudam a controlar o fluxo do modelo (ESRI, 2021b). A tabela 12 apresenta as ferramentas de disponíveis no *ModelBuilder*.

Figura 12 - Ferramentas singulares ao ambiente do *ModelBuilder* (Fonte: ESRI, 2021b)

Ferramentas	Descrição
De utilidade	
<i>Calculate Value</i>	Retorna o valor baseado numa expressão Python específica.
<i>Collet Values</i>	Recolhe os valores de um iterator ou converte a lista de valores num único <i>input</i> .
<i>Get Field Values</i>	Retorna o valor da primeira linha de um campo específico de uma tabela.
<i>Parse Path</i>	Analisa o ficheiro, caminho, nome ou extensão do <i>input</i> .
<i>Select Data</i>	Seleciona dados de um elemento, como uma pasta, <i>geodatabase</i> , <i>feature dataset</i> , ou <i>coverage</i> .
De lógica	
<i>If Coordinate System Is</i>	Avalia os dados de entrada para o sistema de coordenadas específico.
<i>If Data Exists</i>	Avalia se os dados específicos existem.
<i>If Data Type Is</i>	Avalia se os dados de entrada correspondem ao tipo de dados especificado.
<i>If Feature Type Is</i>	Avalia se uma feature class é do tipo de <i>feature</i> especificado.
<i>If Field Exists</i>	Avalia se os dados de entrada possuem os campos especificados.
<i>If Field Value Is</i>	Avalia se os valores de um campo da tabela de atributos correspondem a um valor, expressão ou Segundo campo especificado.
<i>If Row Count Is</i>	Avalia a contagem de linhas dos dados de entrada e verifica se corresponde a um valor especificado.
<i>If Selection Exists</i>	Avalia se os dados de entrada têm uma seleção e se um certo número de registos é selecionado.
<i>If Spatial Relationship Is</i>	Avalia se as entradas possuem uma relação especial especificado.
<i>If Value Is</i>	Avalia um valor de entrada em comparação com um único valor, uma lista de valores ou um intervalo de valores usando um operador de comparação definido.
<i>Merge Branch</i>	Junta duas ou mais ramificações lógicas numa só saída.
<i>Stop</i>	Usa os os resultados de uma iteração. Para o conjunto de valores de entrada, a iteração continuará se todas as entradas forem verdadeiras e parará se qualquer uma das entradas for falsa.

Este tipo de modelo é atrativo visualmente, permitindo ao leitor ter um melhor entendimento dos processos tomados para chegar ao resultado obtido, tornando a modelação espacial mais acessível (Heywood, Cornelius & Carver, 2011).

4.2 Aplicações do *ModelBuilder* na análise de infraestrutura de transportes

São poucos os exemplos de automatização de processos na temática dos transportes com utilização do *ModelBuilder*. A sua aplicação é, sobretudo utilizada, na aceleração de processos intermediários, com o único propósito de acelerar a chegada ao objetivo final (Kelderman, 2019). A sua utilidade prevalece em situações em que os cálculos necessitam de ser reproduzidos repetidamente. Não obstante, o desenvolvimento de modelos não presume a criação de ferramentas, podendo funcionar apenas como meio para chegar a resultados direcionados especificamente para um determinado estudo (Leite, 2011; Martins, 2012; King, 2016;).

De seguida são apresentados alguns exemplos de trabalhos desenvolvidos no domínio dos transportes com a utilização do *ModelBuilder*.

O trabalho de Moller & Nielsen (2007) utiliza os SIG no estudo do transporte de biomassa lenhosa. O *ModelBuilder* serviu, essencialmente, para albergar as funções de álgebra entre ficheiros matriciais.

A comparação entre a acessibilidade por veículo privado e por transporte público é abordado por Benenson et al. (2010), utilizando o *ModelBuilder* para o efeito. O tema estudado pressupõe o uso da extensão *Network Analyst*, que responde a problemas no âmbito de redes, neste caso, rede viária.

Martins (2012) auxiliou-se do *ModelBuilder* para acelerar os processos considerados para determinar a localização ótima de equipamentos sociais (centros de dia) no concelho de Lisboa. Para calcular os locais mais aptos foi considerada a proximidade a equipamentos, alguns critérios restritivos, e um critério que retrata espacialmente o número de pedidos de centro de dia por parte de futuros utentes. O estudo considerou, também, o risco industrial e sísmico.

O trabalho de Leite e Ferreira (2013) utiliza o *ModelBuilder* para analisar a oferta dos transportes públicos no município de Almada. A finalidade do modelo é colmatar a pouca oferta, identificando locais para novas paragens, considerando o declive, a área de serviço/ influência dos equipamentos, a densidade populacional e a conectividade da rede viária. Foi utilizado o método multicritério. O modelo está dividido no cálculo da população servida por cada paragem, localização de novas paragens, cálculo da população servida pelos novos pontos e o cálculo das novas rotas dos autocarros.

O Departamento de Transporte e Estradas Principais (TMR – *Transport and Main Roads*) de Queensland (Austrália), com ajuda do *ModelBuilder*, criou um modelo para calcular os impactos económicos derivados do fecho não planeado de estradas, de modo a apoiar os decisores nos investimentos na rede viária (King, 2016). A figura 11 apresenta parte do modelo utilizado no estudo.

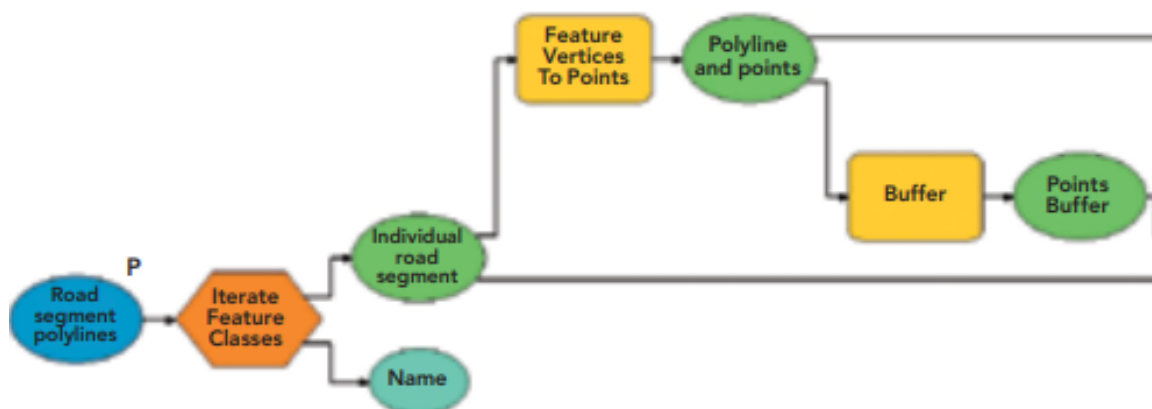


Figura 11 - Parte do modelo desenvolvido no trabalho realizado pelo Departamento de Transporte e Estradas Principais da Austrália (Fonte: King, 2016)

Papa et al. (2018) desenvolveram um método para calcular a acessibilidade da população idosa aos transportes públicos. A acessibilidade é calculada considerando a deslocação pedonal. Foram aplicadas ferramentas da extensão *Network Analyst* para o cálculo das áreas de captação das paragens de transporte público, considerando, para isso, o tempo de viagem, que por sua vez é consequência do declive. O fluxograma da figura 12 mostra alguns dos processos considerados.

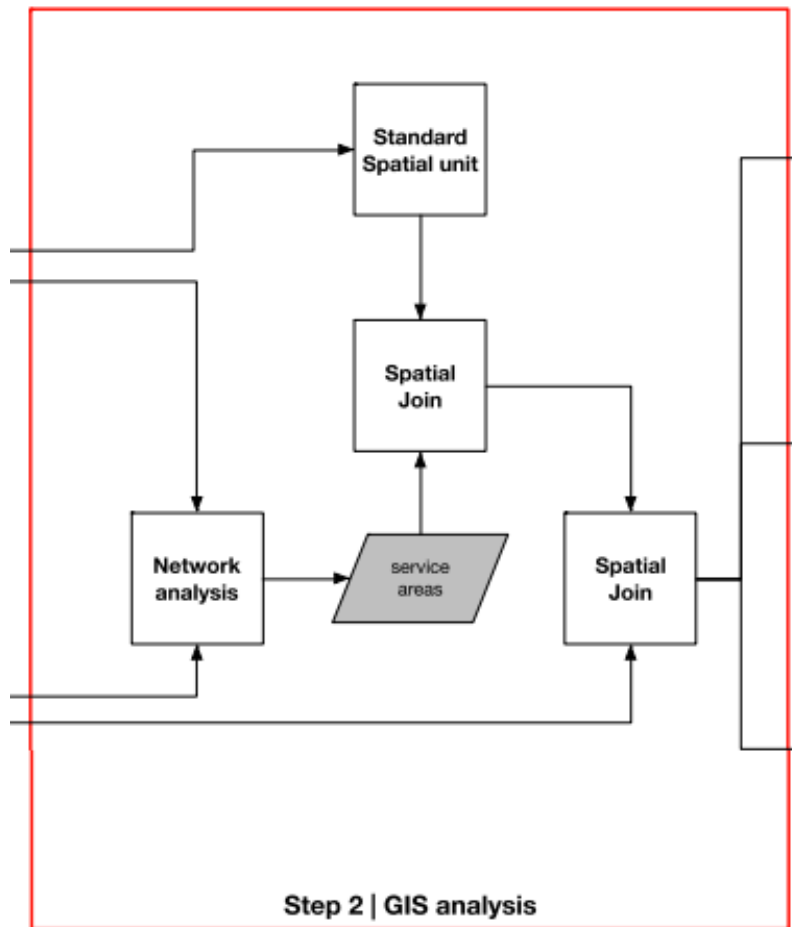


Figura 12 - Fluxograma presente no trabalho de Papa et al. (2018) (Fonte: Papa et al., 2018)

O trabalho de Wu & Tseng (2018) avalia a acessibilidade da comunidade idosa (+65) aos centros comunitários. Foram utilizados dados relativos à localização dos centros comunitários, às necessidades das populações, e à rede viária. Foi medida a distância em tempo entre os centróides de cada povoação e o centro mais próximo. O uso de ferramentas de aplicação a redes é refletido no esquema apresentado na figura 13.

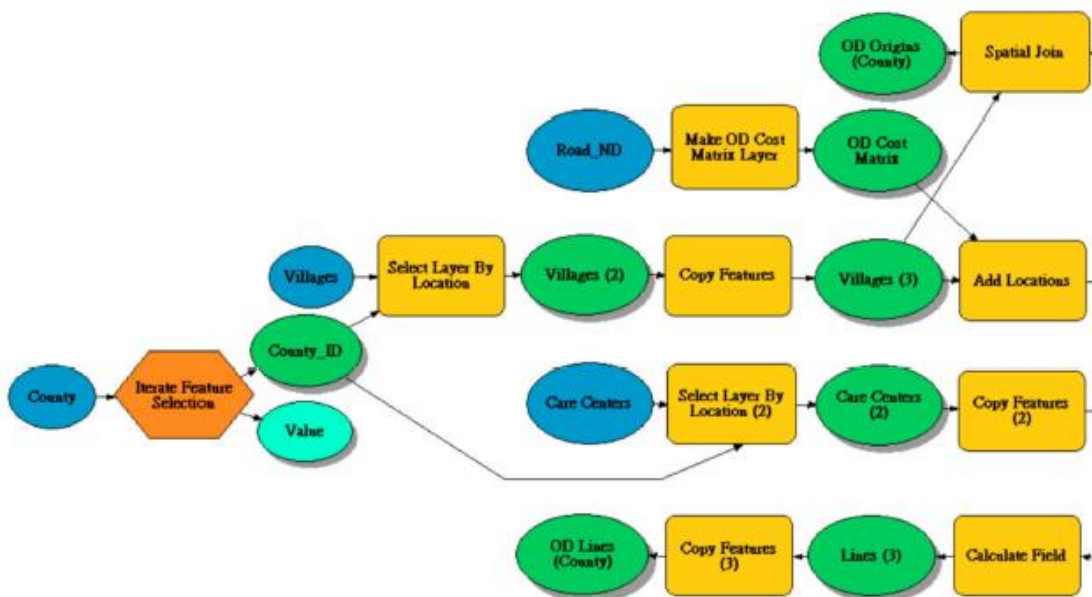


Figura 13 – Parte do modelo desenvolvido no trabalho realizado por Wu & Tseng (2018) (Fonte: Wu & Tseng, 2018)

Wolny et al. (2019) avalia as acessibilidades rodoviárias em áreas rurais. Foram analisadas variáveis do tempo de viagem, estado de conservação e densidade da rede viária. A menção ao *ModelBuilder* não pressupõe a sua aplicação. Não é feita nenhuma referência à extensão *Network Analyst*, contudo o cálculo de fatores supracitados subentende a sua utilização.

Al Shammam & Escobar (2019) calculou um índice de *walkability*. O uso da funcionalidade *ModelBuilder* é referida como tendo sido utilizada para automatizar o processo, não sendo explicitado as ferramentas ou processos ponderados. A *toolbox Network Analyst* não aparente ter sido utilizada.

Kelderman, (2019) estudou o efeito de infraestruturas construídas na escolha da bicicleta como modo de transporte. O *ModelBuilder* serviu o propósito de automatizar alguns processos: calcular a proporção de ciclovias em relação ao total de estradas e calcular as rotas mais curtas de bicicleta e de veículo motorizado, considerando pontos aleatórios.

O Transporte Urbano Sustentável (SUT - *Sustainable Urban Transport*) é o tema abordado por Nadi & Murad (2019). Toda a sua eficiência é estudada e modelos de previsões são apresentados. Várias técnicas SIG e ferramentas são utilizadas: georreferenciação, classificações, conversão de vetorial para matricial, reclassificações, soma ponderada, método dos mínimos quadrados ordinários, regressão exploratória, e regressão geograficamente ponderada (GWR - *Geographically Weighted Regression*). A funcionalidade *ModelBuilder* foi aplicada a processos individuais, primeiro para calcular a soma ponderada, classificando as variáveis com pesos distintos, e depois para calcular a regressão exploratória e a regressão

geograficamente ponderada (figura 14), utilizando as ferramentas/scripts *Ordinary Least Squares* e *Geographically Weighted Regression* disponibilizadas no software ArcGIS.

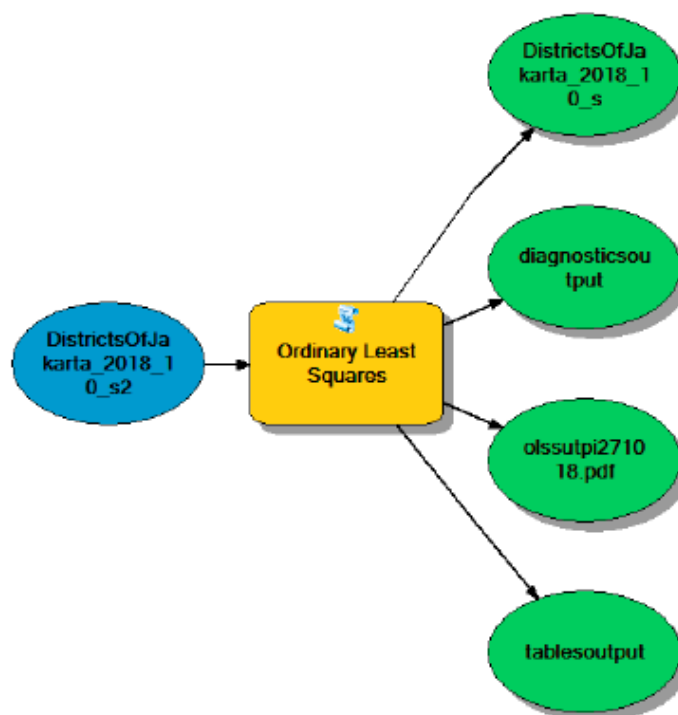


Figura 14 - Modelo desenvolvido no trabalho de Nadi & Murad (2019) (Fonte: Nadi & Murad, 2019)

Perera et al. (2019) propôs um modelo para otimização dos locais para implementar infraestruturas públicas de recarga para veículos elétricos. A ferramenta do *ModelBuilder* foi útil na construção de três modelos distintos, e serviram para encontrar a distância mais curta entre todos os pares Origem-Destino (*OD Matrix*). Nestes processos, é visível o uso da extensão destinada à análise de redes, *Network Analyst*.

Ma & Zhang (2020) analisam o efeito do relevo no custo do transporte rodoviário, aplicado ao transporte de biomassa. O *ModelBuilder* foi utilizado para criar um modelo que permite atribuir a elevação a vários pontos criados aleatoriamente (*random points*), com recurso ao iterador 'for'. A figura 15 apresenta o modelo utilizado para atribuir a elevação a vários pontos criados.

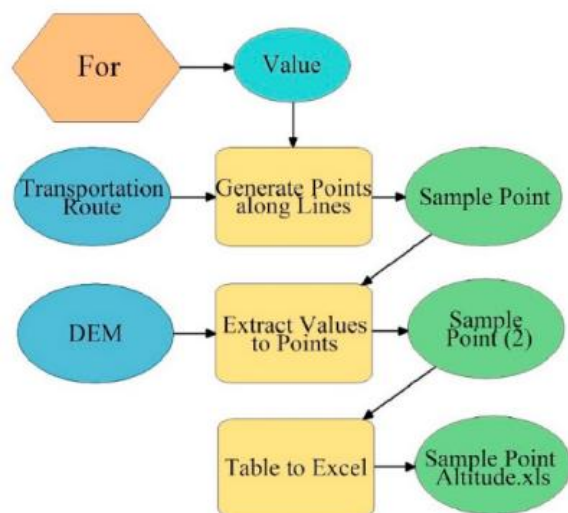


Figura 15 - Modelo desenvolvido no trabalho realizado por Ma & Zhang (2020) (Fonte: Ma & Zhang, 2020)

Um resumo dos estudos apresentados, assim como as principais características dos mesmos são apresentados nas tabelas 13 e 14. A extensão *Network Analyst* é utilizada na maioria dos trabalhos analisados, e a sua aplicação é usada para a determinação da acessibilidade, otimização da localização de equipamentos, elaboração de mapas de custo, cálculo de impactos económicos, implantação de infraestruturas e com foco na mobilidade suave.

Tabela 13 - Revisão literária do uso do *ModelBuilder* em estudos do âmbito das vias de comunicação – parte 1

Autor	Ano	Área de estudo	Tema	Uso da extensão <i>Network Analyst</i>	Função da utilização do <i>ModelBuilder</i>	Criação de ferramenta
Moller & Nielsen	2007	Dinamarca	Mapa de custo no transporte de biomassa lenhosa	Não	Procedimentos intermediários	Não
Benenson et al.	2010	Tel Aviv (Israel)	Acessibilidade com base no trânsito e veículos	Sim	Modelo	Sim
Martins	2012	Concelho de Lisboa	Localização ótima de equipamentos sociais para idosos	Não	Modelo	Não
Leite & Ferreira	2013	Almada	Oferta e procura dos transportes públicos	Sim	Modelo	Não
King	2016	Queensland (Austrália)	Impactos económicos do fecho não-planeado de estradas	Sim	Modelo	Não

Tabela 14 - Revisão literária do uso do *ModelBuilder* em estudos do âmbito das vias de comunicação – parte 2

Autor	Ano	Área de estudo	Tema	Uso da extensão <i>Network Analyst</i>	Função da utilização do <i>ModelBuilder</i>	Criação de ferramenta
Papa et al.	2018	Nápoles (Itália)	Acessibilidade dos transportes públicos	Sim	Procedimentos intermediários	Não
Wu & Tseng	2018	Taiwan	Acessibilidade dos centros comunitários	Sim	Modelo	Não
Wolny et al.	2019	Província de Warmia e Mazury (Polónia)	Acessibilidade rodoviária das áreas rurais	Sim	Procedimentos intermediários	Não
Al Shammass & Escobar (2019)	2019	Madrid (Espanha)	<i>Walkability Index</i>	Talvez	Procedimentos intermediários	Não
Kelderman, J.	2019	Países Baixos	Efeito do território artificializado no uso da bicicleta	Sim	Procedimentos intermediários	Não
Nadi & Murad (2019)	2019	Jakarta (Indonésia)	Transporte urbano sustentável	Não	Procedimentos intermediários	Não
Perera et al. (2019)	2019	Kelowna (Canadá)	Implantação de infraestrutura de recarga para veículos elétricos	Sim	Modelo	Não
Ma & Zhang	2020	9 cidades chinesas	Efeito do relevo no custo do transporte rodoviário	Não	Procedimentos intermediários	Não

A aplicação do *ModelBuilder* nas vias de comunicação é sobretudo usada, na sua maioria, para acelerar e estruturar determinados procedimentos que são parte de um processo de maior escala (Moller & Nielsen 2007; Benenson et al., 2010; Papa et al., 2018; Kelderman, 2019; Al Shammas & Escobar, 2019; Nadi & Murad, 2019; Ma & Zhang, 2020). Não obstante, dos trabalhos analisados, também é comum a estruturação de um modelo completo para alcançar determinado resultado (Martins, 2012; Leite & Ferreira, 2013; Wu & Tseng, 2018; Perera et al., 2019), no entanto não pressupõe a aplicabilidade da ferramenta a outras realidades.

Em suma, os campos de aplicação do *ModelBuilder* no âmbito das vias de comunicação são variados: determinação da acessibilidade (Benenson et al., 2010; Wu & Tseng, 2018; Papa et al., 2018; Wolny et al., 2019), localização de equipamentos (Martins, 2012; Perera et al., 2019), cálculo de mapas de custo (Moller & Nielsen, 2007; Ma & Zhang, 2020), entre outros. Todos os continentes estão representados nos estudos analisados, embora dominado por casos de estudos europeus.

O facto dos estudos se concentrarem nos últimos três anos (2018, 2019 e 2020) mostra que o uso do *ModelBuilder* na área dos transportes começa a ser considerado como uma mais-valia, passível de ser explorado. Apesar da temática explorada na literatura analisada, a extensão de análise de redes (*Network Analyst*) nem sempre é utilizada ou replicada nos modelos.

A revisão da literatura evidenciou que o tema dos modos suaves de deslocação ainda se encontra pouco explorado no que respeita à utilização da ferramenta *ModelBuilder* ou semelhantes. Apesar disso, temáticas importantes no que concerne ao estudo da mobilidade suave/ ativa, os conceitos de *walkability* e *bikeability* são abordados em alguns estudos (Wu & Tseng, 2018; Al Shammas & Escobar, 2019, Kelderman, 2019).

5. Metodologia

5.1 Descrição geral

A elaboração de um Índice de Potencial de Mobilidade Suave e a sua implementação em ambiente SIG necessita de várias etapas de verificação, construção, experimentação e calibração, antes de se dar como completa. O fluxograma (figura 16) representa todo esse processo, segmentado em três fases: preparação dos dados (1ª fase), elaboração das ferramentas que constituem o modelo (2ª fase) e análise dos resultados (3ª fase).

A metodologia tem como tronco principal a elaboração de dois modelos: um que calcula o tempo de percurso para cada troço da rede analisada, por modo de transporte considerado, e outro que, através de uma análise multicritério espacial, calcula o potencial pedonal, ciclável (para a utilização da bicicleta convencional e elétrica) e de mobilidade suave (conjugação dos modos pedonal e ciclável).

Os resultados têm como objetivo classificar os troços da rede viária de acordo com a sua adequabilidade para as deslocações pendulares em modos suaves (a pé e de bicicleta).

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

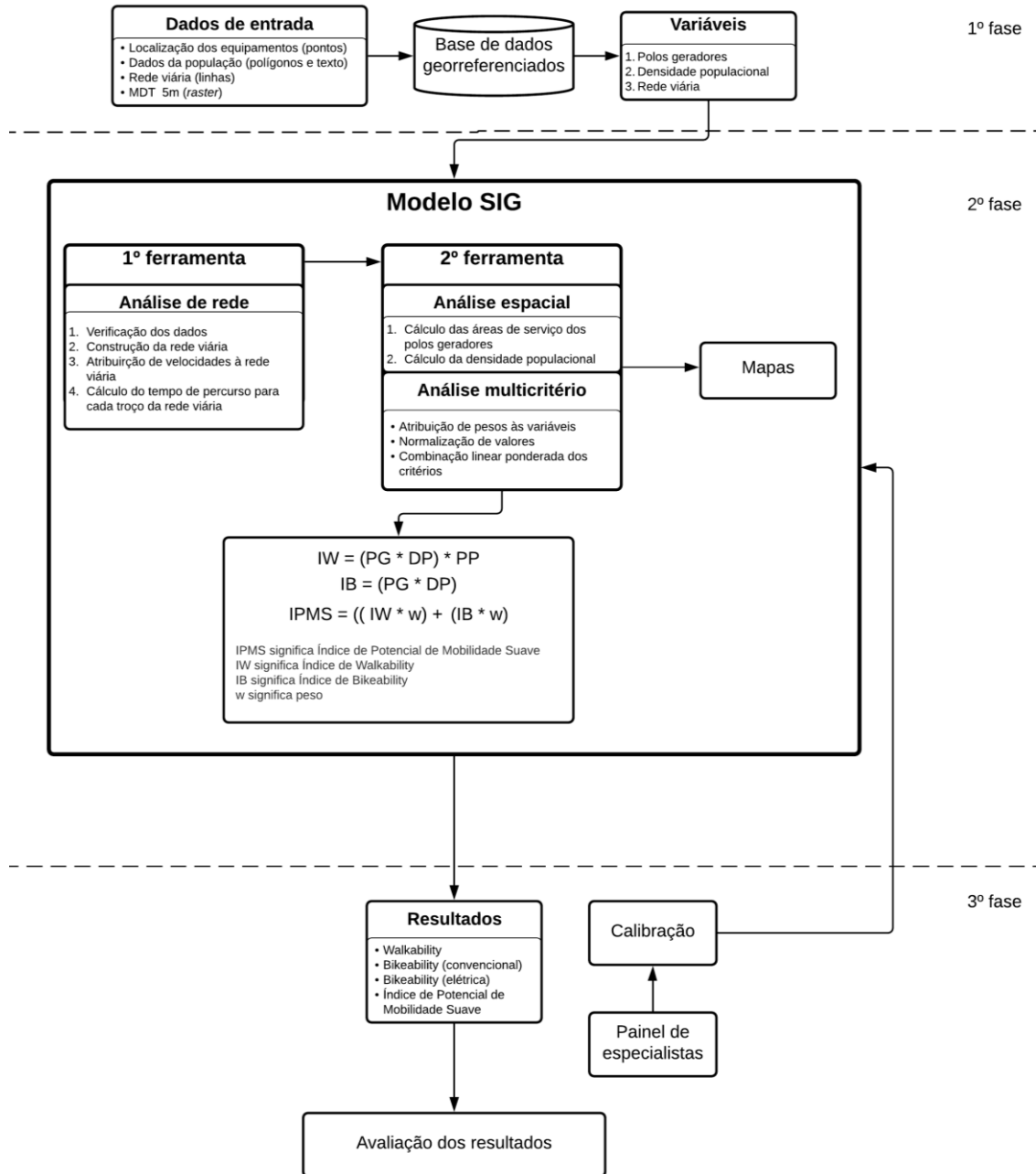


Figura 16 - Metodologia adotada na avaliação do potencial de mobilidade suave de redes viárias

A primeira fase consiste na recolha e tratamento da informação geográfica vetorial: rede viária, perímetro urbano (área de estudo), divisão administrativa do território em subsecções estatísticas e localização dos equipamentos geradores de viagens; e matricial: MDT (Modelo Digital do Terreno) 5m (tabela 15). Devido ao baixo nível de exatidão das redes viárias disponíveis *online*, a rede viária em formato *shapefile* é a que carece de mais tratamento de forma a garantir a conectividade entre troços e uma boa representatividade da rede existente.

A segunda fase diz respeito à criação das variáveis e a sua incorporação nas ferramentas desenvolvidas com recurso ao ModelBuilder. Foram construídas duas ferramentas denominadas: “Tempo de percurso a pé e em bicicleta convencional e elétrica” e “IPMS”. Os primeiros resultados decorrentes da aplicação das ferramentas permitem identificar possíveis erros na metodologia. O primeiro permite atribuir a velocidade de circulação, em função do declive dos troços da rede viária, e calcular o tempo de percurso de cada troço para os três modos de transporte considerados: a pé, de bicicleta convencional e de bicicleta elétrica. Desta ferramenta resulta a informação que permite criar uma *Network Dataset*.

O segundo modelo utiliza a *Network Dataset* para calcular a variável polos geradores (áreas de serviço). Calcula ainda a variável densidade populacional, que em conjunto com a anterior, através de uma análise multicritério espacial, permitem calcular os índices de *walkability*, *bikeability* e de potencial de mobilidade suave. Para calcular os índices foram considerados a localização dos polos geradores de viagens, a densidade populacional e fatores relativos às características da rede viária.

As expressões 1, 2 e 3 traduzem o cálculo do potencial de mobilidade pedonal e em bicicleta convencional e elétrica.

$$IW = (w_{PG} \times PG + w_{DP}) \times RP$$

Expressão 1

$$IB = (w_{PG} \times PG + w_{DP}) \times RP$$

Expressão 2

$$IEB = (w_{PG} \times PG + w_{DP}) \times RP$$

Expressão 3

Em que,

IW representa o potencial espacial para a circulação pedonal, numa escala de 0 a 100, em que 0 representa as áreas com potencial pedonal muito reduzido e 100 representa as áreas com elevado potencial pedonal.

IB representa o potencial espacial para a circulação em bicicleta convencional, numa escala de 0 a 100, em que 0 representa as áreas com potencial ciclável muito reduzido e 100 representa as áreas com elevado potencial ciclável.

IEB representa o potencial espacial para a circulação em bicicleta elétrica, numa escala de 0 a 100, em que 0 representa as áreas com potencial ciclável muito reduzido e 100 representa as áreas com elevado potencial ciclável.

w_{PG} representa o peso a atribuir aos polos geradores na análise do potencial pedonal.

PG representa o valor do critério dos polos geradores (0-100).

w_{DP} representa o peso a atribuir à densidade populacional na análise do potencial pedonal.

DP representa o valor do critério da densidade populacional (0-100).

RP representa o valor do critério da rede viária (valor de 0 para segmentos da rede viária sem características para a circulação suave e de 1 para segmentos com características para a circulação suave).

A terceira e última fase concerne ao processo de calibração e análise dos resultados obtidos. A opinião de especialistas académicos e de gestores autárquicos permitiu ajustar os pesos considerados na análise multicritério.

5.2. Variáveis

5.2.1 Variável 1 – Características da rede viária

As características da rede viária são tidas em consideração na análise através da incorporação de informação relativa a aspetos que caracterizam a aptidão dos troços para andar e pedalar.

A hierarquia viária é um dos aspetos considerados, indicando troços que não permitem o uso de bicicleta, como as escadas e elevadores e vias com velocidade de circulação elevada (vias coletoras). Para o caso pedonal, também as vias coletoras são inaptas para a circulação a pé.

O fator declive também foi considerado uma vez que permite classificar determinados troços da rede como inaptos para a deslocação suave devido ao elevado gradiente que podem apresentar. As restrições relativas ao declive tiveram por base as indicações presentes no relatório *Architectural Barriers Act Accessibility Guidelines for Outdoor Developed Areas* (AGODA) (citado pela AASHTO, 2010), que indica que as infraestruturas para o uso da bicicleta não devem exceder os 5% de declive. Para a circulação em bicicleta elétrica foram considerados inaptos os declives acima de 10%.

A presença de passeio para a circulação pedonal influencia na perceção de adequabilidade para a deslocação a pé. Este fator é imperativo para uma deslocação pedonal confortável e segura, sendo um aspeto importante na decisão de adotar o modo pedonal numa deslocação (Moudon et al., 1997; Kitamura et al., 1997; USEPA, 2003; Handy et al., 2005; Landis et al., 2005; Marshall & Garrick, 2010; McCormack et al., 2012). A consideração deste aspeto no modelo proposto, uma penalização foi atribuída às vias sem passeio.

5.2.2 Variável 2 – Polos geradores de viagens

São vários os estudos de *walkability* e *bikeability* que utilizam a localização dos principais equipamentos existentes nas cidades como variável a considerar no seu cálculo (Lee & Moudon, 2006; Owen et al., 2007; Frank et al., 2010; Duncan et al., 2011; Glazier et al., 2012; Coffee et al., 2013; Reyer et al., 2014; Glazier et al., 2014; Habibbian & Hosseinzadeh, 2018). A escolha

dos equipamentos considerados tem por base a importância dos mesmos para as deslocações das pessoas (Lee & Moudon, 2006; Passos, 2018; Nogueira, 2020; Avilio et al., 2020). Outros estudos, não considerando de forma direta as áreas de influência ou serviço de equipamentos, fazem-no de forma indireta, através de variáveis como o uso do solo e a área comercial (Harkey et al., 1998; Frank et al., 2005; Lee & Moudon, 2006; Owen et al., 2007; Frank et al., 2010; Coffee et al., 2013; Reyer et al., 2014; Stockton et al., 2016, Motta, 2017).

Neste estudo, e em sintonia com o que é proposto na ferramenta 2, são considerados os equipamentos das categorias comércio, educação, saúde, transporte, lazer, cultura, desporto, serviços e turismo (figura 21). A cada equipamento é atribuído um peso representativo da sua relevância, obtido através da realização de inquéritos de preferências declaradas aplicados à população ativa da zona em estudo.

5.2.3 Variável 3 – Densidade populacional

A densidade populacional permite identificar as zonas onde se concentram os residentes. A densidade populacional é calculada a partir dos dados disponibilizados pelo INE relativos aos Censos 2011 (INE, 2011). O número total de residentes por subsecção estatística e a determinação da sua área permite calcular a densidade populacional em habitantes por km² ou por ha.

A densidade populacional, ou outras medidas semelhantes, é uma das variáveis mais utilizadas neste tipo de estudo (Frank et al., 2005; Owen et al., 2007; Frank et al., 2010; Duncan et al., 2011; Duncan et al., 2011; Glazier et al., 2012; Coffee et al., 2013; Glazier et al., 2014; Stockton et al., 2016; Motta, 2017; Habibian & Hosseinzadeh, 2018).

5.2-4. Resumo das variáveis utilizadas

A tabela 15 resume as variáveis utilizadas no modelo proposto e a sua sustentação.

Tabela 15 - Variáveis utilizadas no modelo proposto

Variável	Dados	Motivo
Características da rede viária	Hierarquia viária	<p>Seleção das vias com características favoráveis à circulação pedonal e com bicicleta (exclusão das vias coletoras)</p> <p>Seleção dos elementos do sistema pedonal inadequados para a circulação com recurso à bicicleta (escadas, pontes pedonais e elevadores).</p>
	Declive da via	<p>Os declives acima de 5% e de 10% foram classificados como inadequados para a circulação com bicicleta convencional e elétrica, respetivamente.</p> <p>Avaliação da velocidade e do tempo de percurso a pé e com bicicleta (convencional ou elétrica) em função do declive.</p>
	Presença de passeio	Os troços da rede viária sem passeio são penalizados na análise do índice de <i>walkability</i> .
Polos geradores de viagens	Localização dos principais equipamentos	As áreas de serviço são calculadas a partir da localização dos equipamentos existentes na área em estudo.
	Tempo de percurso	As áreas de serviço são calculadas tendo em conta intervalos de tempo de percurso considerados admissíveis pelos utilizadores dos modos suaves.
Densidade populacional	Censos 2011	A informação sobre o número de residentes e a divisão administrativa do território permite localizar as áreas de concentração da população.

5.3 Ferramenta 1 – Tempo de percurso pedonal e em bicicleta convencional e elétrica

5.3.1 Desenvolvimento da ferramenta

A ferramenta desenvolvia, a utilizar antes da criação da *Network Dataset*, permite determinar e atribuir o valor do declive a cada troço da rede viária, o cálculo da velocidade e a determinação do tempo de percurso associado a cada troço e modo de transporte.

A tabela 16 apresenta o conjunto dos estudos analisados sobre a temática da velocidade pedonal e da velocidade de deslocação com bicicleta. A velocidade de circulação em função do declive usada na análise foi calculada a partir dos estudos de Tobler (1993), Fruin (1987) e Flugel et al. (2019). Os dois primeiros foram usados na determinação da velocidade pedonal e o terceiro para a definição da velocidade de circulação de bicicletas convencionais e elétricas. Estes estudos provaram ser de simples aplicação na ferramenta desenvolvida.

Tabela 16 - Revisão bibliográfica da velocidade de circulação a pé e em bicicleta – parte 1

Autores (ano)	Modo de transporte	Fatores considerados	Conclusões
Naismith (1892)	Pedonal	Declive	Em média, as pessoas andam a 5 km/h em terreno plano.
Tanaboriboon et al. (1986)	Pedonal	Estudo de observação	A velocidade média pedonal é de cerca de 4,44 km/h.
Clark-Carter & Heyes (1987)	Pedonal	Estudo de observação	A velocidade pedonal praticada por invisuais é maior quando acompanhados: 6,5 km/h acompanhados e 5,2 km/h sem acompanhamento.
Fruin (1987)	Pedonal	Declive	A velocidade pedonal média em terreno plano é de 4,9 km/h, 1,8 km/h a descer escadas e 1,6 km/h a subir escadas.
Himann (1988)	Pedonal	Fisiologia	A altura e a força muscular das pernas influenciam a velocidade pedonal.
Bassey (1992)	Pedonal	Fisiologia	A altura e a força muscular das pernas (<i>Leg Extensor Power</i>) influenciam a velocidade pedonal.
Tobler (1993)	Pedonal	Declive	A velocidade máxima de 6 km/h é alcançada num declive de -2,86°.
Knoblauch (1996)	Pedonal	Idade	Pessoas idosas caminham mais lentamente. A atravessar uma estrada, os idosos andam a 3,29 km/h, enquanto os jovens andam a 4,39 km/h.
Mockett (1996)	Pedonal	Fisiologia	A altura e a força muscular das pernas (<i>Leg Extensor Power</i>) influenciam a velocidade pedonal.

Tabela 17 - Revisão bibliográfica da velocidade de circulação a pé e em bicicleta – parte 2

Autores (ano)	Modo de transporte	Fatores considerados	Conclusões
Montufar et al. (2002)	Pedonal	Clima	Os adultos, em média circulam a 5,80 km/h a atravessar a estrada: 5,69 km/h no verão e 5,90 km/h no inverno.
Fujiyama & Tyler (2004)	Pedonal	Idade	A velocidade pedonal em escadas obtida para um grupo de pessoas com idade média de 35 anos foi de 2,2 km/h a subir e de 2,6 km/h a descer. Considerando um grupo de pessoas com idade média de 71 anos, 2,0 km/h a subir e 2,2 km/h a descer.
Finnis & Walton (2006)	Pedonal	Fatores externos	Deficiência motora, peso extra e o calçado influenciam a velocidade pedonal.
Kretz et al. (2008)	Pedonal	Escada	A velocidade máxima a subir uma escada varia entre 1,4 km/ a 1,8 km/h.
Rastogi et al. (2011)	Pedonal	Enquadramento	A velocidade pedonal varia conforme o local e a atividade praticada: 4,3 km/h em passeios pedonais e 3,8 km/h em recintos; 4,5 km/h para desporto e 3,7 km/h para lazer; 5,1 km/h em áreas educacionais e 3,6 km/h em áreas comerciais.
Chandra & Bharti (2013)	Pedonal	Presença de passeio	A presença de passeios favorece a adoção de uma maior velocidade pedonal, sobretudo em passeios largos: 3,7 km/h em passeio, 4,0 km/h em passeio largo, 3,5 km/h na faixa de rodagem, 5,4 km/h a atravessar uma estrada de sentido único e 4,4 km/h a atravessar uma estrada de dois sentidos de circulação.
Franěk (2013)	Pedonal	Enquadramento	Menor vegetação e maior tráfego e ruído e influenciam positivamente a velocidade pedonal (maior velocidade).
Adell et al. (2013)	Pedonal	Idade	A velocidade pedonal máxima de um idoso é de 3,5 km/h.
Kuzmyak et al. (2014)	Pedonal	Clima	Temperatura extrema, precipitação e o nível de luz influenciam a velocidade pedonal.
Duim et al. (2017)	Pedonal	Estudo de observação	Em travessias pedonais, 69,7% das pessoas andam mais devagar do que 3,69 km/h.

Tabela 18 - Revisão bibliográfica da velocidade de circulação a pé e em bicicleta – parte 3

Autores (ano)	Modo de transporte	Fatores considerados	Conclusões
Pinna & Murrau (2018)	Pedonal	Idade	A velocidade média varia conforme a idade: 3,7 km/h em jovens (0-18 anos), 3,6 km/h em adultos (19-65) e 3,0 km/h em idosos (>65).
Martin et al. (1998)	Bicicleta convencional	Declive	Um aumento de 1% no declive reflete-se num decréscimo de 11% na velocidade praticada.
Bernardi & Rupi (2015)	Bicicleta convencional	Estudo de observação	A velocidade de circulação em bicicleta situa-se entre 14,6 km/h e 22,0 km/h. A presença de peões e de veículos pesados diminui a velocidade praticada.
Schleinitz et al. (2016)	Bicicleta convencional	Declive	Velocidade média de circulação em bicicleta: 15,3 km/h. A velocidade em declives descendentes é maior quando comparada com declives ascendentes.
Vlakoveld et al. (2014)	Bicicleta convencional	Idade	Velocidade média de circulação em bicicleta de 19,6 km/h para adultos e de 17,1 km/h para idosos. A velocidade praticada por idosos em <i>e-bike</i> é semelhante à dos jovens em bicicletas convencionais.
Dozza & Werneke (2014)	<i>e-bike</i>	Estudo de observação	A velocidade de circulação em <i>e-bike</i> situa-se entre 14,0 km/h e 17,0 km/h.
Alrutz (2012)	<i>e-bike</i>	Estudo de observação	A velocidade média de circulação em <i>e-bike</i> é de 17,0 km/h.
Dozza et al. (2016)	<i>e-bike</i>	Estudo de observação	A velocidade média de circulação em <i>e-bike</i> é de 17,0 km/h.
Paefgen & Michahelles (2010)	<i>e-bike</i>	Estudo de observação	A velocidade média de circulação em <i>e-bike</i> é de 19,0 km/h.
Arnese et al. (2019)	<i>e-bike</i>	Estudo de observação	A velocidade média de circulação em <i>e-bike</i> é de 20,0 km/h.
He et al. (2008)	<i>e-bike</i>	Estudo de observação	A velocidade média de circulação em <i>e-bike</i> é de 22,0 km/h.
Flugel et al. (2019)	Bicicleta convencional e <i>e-bike</i>	Declive	A velocidade de circulação em bicicleta situa-se entre 11,0 km/h e 21,0 km/h para a bicicleta convencional e entre 13,0 km/h e 23,0 km/h para a bicicleta elétrica.

A respeito do cálculo da velocidade pedonal, a função Tobler's Hiking é uma função exponencial que determina a velocidade de circulação a pé, levando em consideração o gradiente/ declive. A velocidade máxima da caminhada, de 6 km/h, é alcançada com um declive de -2.86° isto é, nas descidas muito ligeiras. A função é representada pela expressão 4. A figura 17 expõe as velocidades consoante o gradiente, de acordo com Tobler (1993).

$$W = 6 \times e^{-2.5 \left| \frac{dh}{dx} + 0.05 \right|}$$

Expressão 4

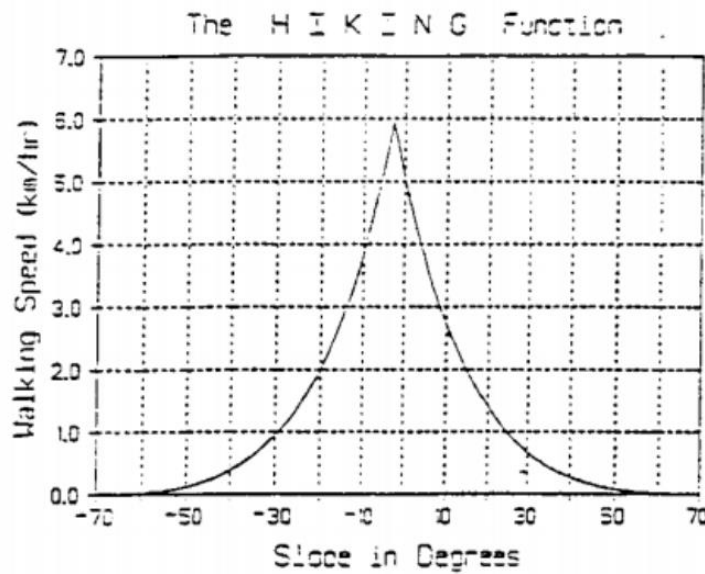


Figura 17 - Tobler's Hiking Function

No caso das escadas foram adotadas as velocidades apresentadas por Fruin (1987): 1,8 km/h a descer e 1,6 km/h a subir. As velocidades a considerar em elementos espaciais da rede pedonal, como elevadores e funiculares, deve ser obtida para esses equipamentos (no caso de existirem). Em alternativa, será considerada uma velocidade de 3,0 km/h para os elevadores e funiculares.

As figuras 18 e 19 mostram os gráficos obtidos com os dados do estudo de Flugel et al. (2019) e as expressões obtidas por regressão consideradas para a determinação da velocidade de circulação com bicicleta convencional e elétrica. Tendo em conta o conjunto de dados utilizados, para os troços com declive abaixo de -9% , considerou-se uma velocidade fixa de 17,7 km/h para as bicicletas convencionais e de 18,7 km/h para as bicicletas elétricas. No sentido ascendente, para declives acima de 9% considerou-se uma velocidade de 10,8 km/h e 12,8 km/h, respetivamente.

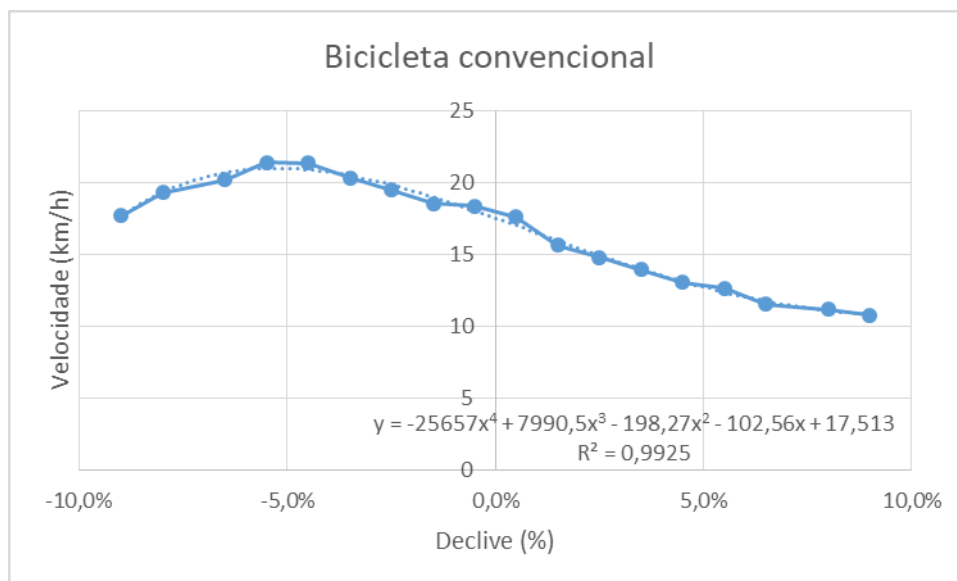


Figura 18 - Fórmula polinomial para o cálculo da velocidade de circulação em bicicleta convencional (com base nas medições efetuadas por Flugel et al., 2019).

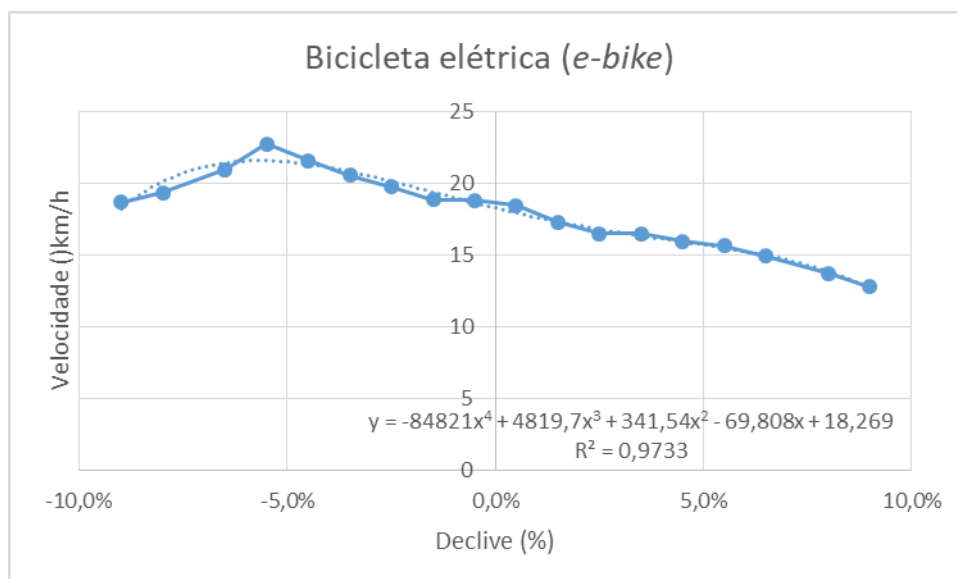


Figura 19 - Fórmula polinomial para o cálculo da velocidade de circulação em bicicleta elétrica (com base nas medições efetuadas por Flugel et al., 2019).

Em resumo, o processo de cálculo da velocidade de circulação é o apresentado na figura 20.

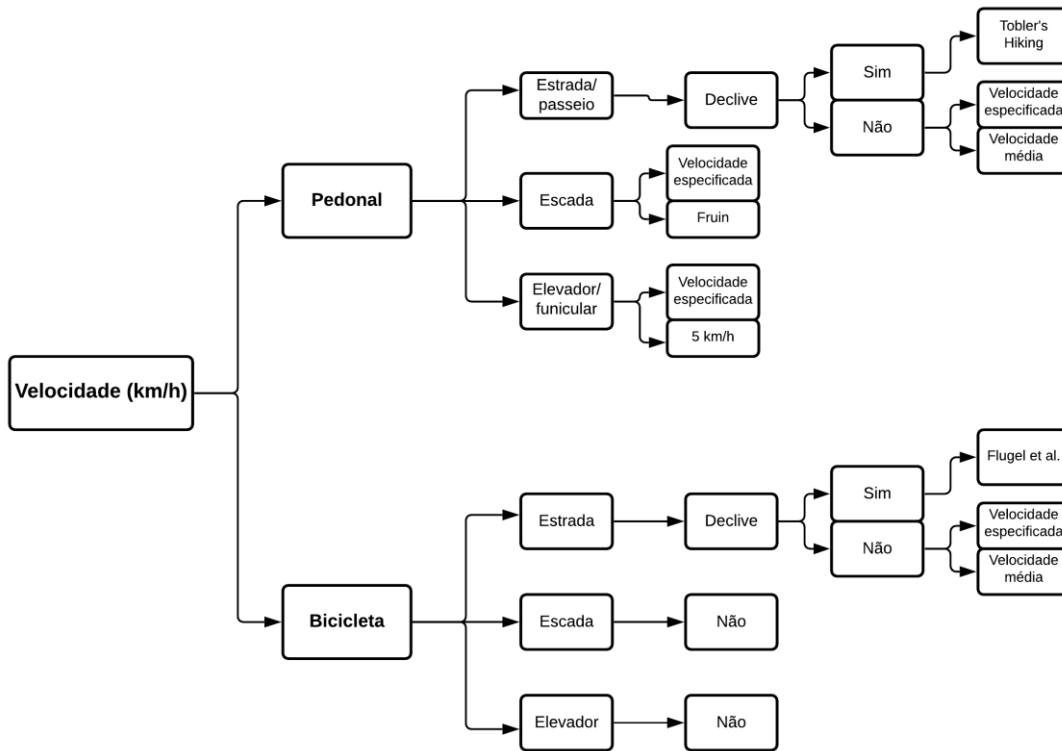


Figura 20 - Metodologia para a atribuição de velocidades a considerar na Ferramenta 1

Do ponto de vista do utilizador, a ferramenta necessita dos seguintes dados para a determinação das velocidades de circulação: rede viária com informação referente à hierarquia viária e MDT, sendo este último opcional e utilizado quando não se pretendem assumir velocidades médias de circulação.

A figura 21 apresenta uma vista global da programação por objetos da ferramenta 1. No anexo 1 é apresentada uma versão mais ampliada.



Figura 21 - Ferramenta 1: Tempo de percurso pedonal e em bicicleta convencional e elétrica

De forma a facilitar a leitura da ferramenta desenvolvida em *ModelBuilder* no que ao apoio visual concerne, esta pode ser dividida em três processos: seleção de velocidades, extração de dados para o cálculo do declive dos troços da rede e conjunto de cálculos tabelares.

A secção de seleção da velocidade a considerar para cada modo de deslocação (pedonal, bicicleta convencional e bicicleta elétrica) tem utilidade nos casos em que o utilizador opte por especificar velocidades médias para os modos de deslocação, ignorando a influência do declive dos segmentos da rede em análise na velocidade praticada. Nesse sentido, esta secção possui quatro

parâmetros: velocidade média (km/h) a considerar no modo pedonal; velocidade média (km/h) a considerar para a bicicleta convencional; velocidade média (km/h) a considerar para a bicicleta elétrica; e campo indicador da velocidade (km/h) dos elevadores/funiculares. A utilização deste último parâmetro está idealizado para casos em que o utilizador tenha em posse informação sobre a velocidade em troços específicos. Foi adicionado tendo em mente o caso dos elevadores e funiculares, cuja velocidade pode variar significativamente.

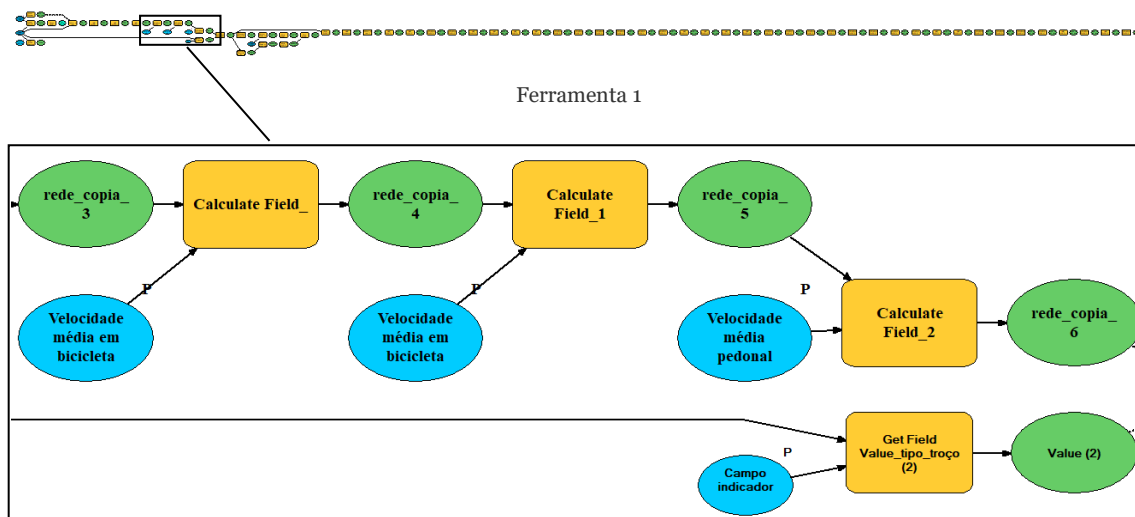


Figura 22 - Processo 1 da Ferramenta 1: seleção de velocidades

Já em relação à inclinação longitudinal dos troços da rede viária, o seu cálculo deriva da extração da informação do MDT e da sua união à *shapefile* da rede viária. Para isso, o único parâmetro necessário é o Modelo Digital do Terreno.

Para a determinação e posterior atribuição do declive aos troços da rede viária, foi considerada a altitude do ponto inicial (*startpoint*) e do ponto final (*endpoint*) de cada troço, assim como a sua extensão. No caso das escadas, a altitude dos dois pontos indica o sentido da subida. A partir desta informação é possível calcular o tempo, em minutos, que demora a percorrer cada troço.

Para calcular o declive de cada troço são utilizadas as ferramentas *Feature Vertices to Points*, *Extract Values to Points* e *Join Field* do software ArcGIS (figura 23). A ferramenta *Feature Vertices to Points* tem o objetivo de converter os vértices da rede viária em elementos pontuais, criando duas *shapefiles*: uma com os vértices iniciais (*startpoint*) e outra com os vértices finais (*Endpoint*) de cada troço da rede. A segunda ferramenta listada, *Extract Values to Points*, permite classificar os pontos com os valores da altimetria presentes no Modelo Digital do Terreno (MDT). A ferramenta *Join* permite transferir esta informação recolhida para a *shapefile* da rede viária, onde é calculado o declive com recurso à ferramenta *Calculate Field*.

O cálculo da velocidade é feito recorrendo também à ferramenta *Calculate Field*, tendo em conta as expressões baseadas nos trabalhos de Tobler (1993) e de Flugel et al. (2019), apresentadas

anteriormente (figura 17, 18 e 19) e uma série de condicionamentos que têm como objetivo tratar os casos particulares das escadas e elevadores (figura 24).

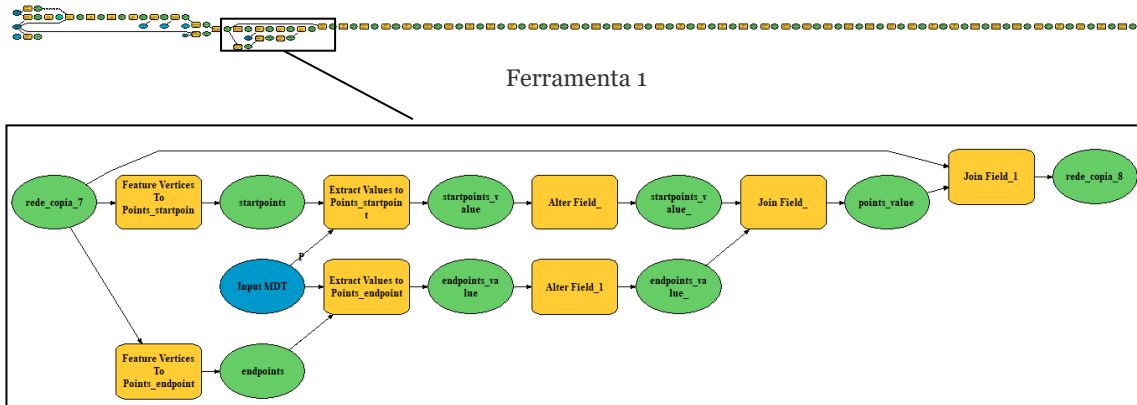


Figura 23 - Processo 2 da Ferramenta 1: extração da informação do MDT para cálculo do declive dos troços da rede

A fase do conjunto de cálculos tabelares é, essencialmente, a criação de campos e o cálculo do declive dos troços e em função deste, das velocidades de deslocação e tempo de percurso. Esta fase não inclui parâmetros.

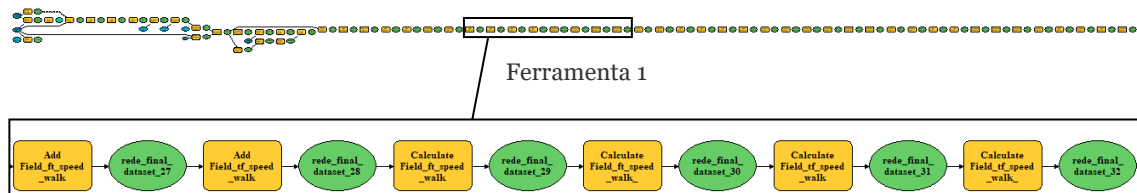


Figura 24 - Processo 3 da Ferramenta 1: cálculo da velocidade (km/h) pedonal

5.3.2 Interface da ferramenta

A ferramenta é composta por oito parâmetros (figura 25). Para executar a ferramenta é necessário preencher um mínimo de quatro parâmetros. A ferramenta solicita um ficheiro matricial (*raster* ou TIFF) e um ficheiro vetorial (linha) e a seleção de um campo textual, três expressões SQL, e um *workspace* (geodatabase).

Os parâmetros “Input MDT”, “Input rede viária”, “Campo indicador do tipo de troço (Estrada, Escada ou Elevador)”, “Campo indicador da velocidade (km/h) dos elevadores/ funiculares” e “Output (.gdb)” necessitam, obrigatoriamente, de ser preenchidos. A figura 25 apresenta o *interface* da ferramenta 1.

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

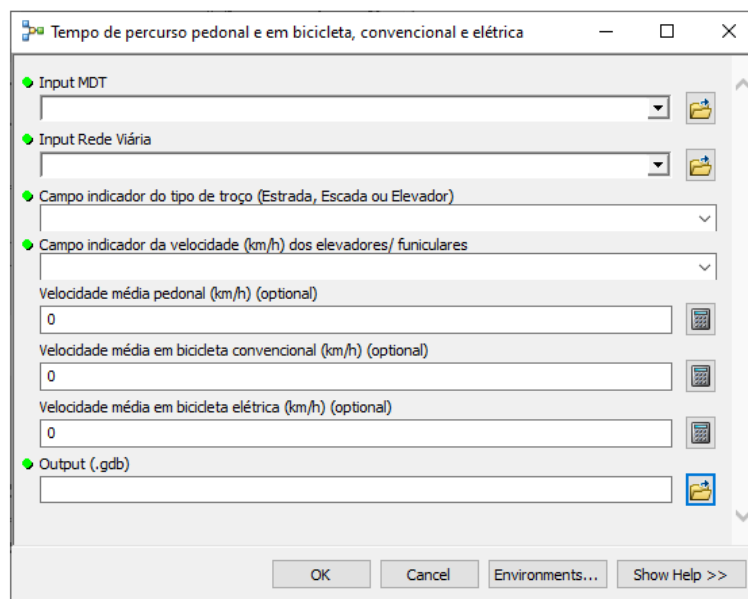


Figura 25 - Interface da Ferramenta 1

O *output* da ferramenta consiste numa cópia da rede viária introduzida, com informação relativa ao declive de cada troço, à velocidade de deslocação (km/h) e ao tempo (min) de percurso. Esta informação é dada para ambos os sentidos de circulação da rede (*from – to* e *to - from*). A Figura 26 apresenta um exemplo de parte da tabela de atributos resultante da ferramenta 1.

rede_final_dataset						
	ft slope	tf slope	ft speed bike	tf speed bike	ft time bike	tf time bike
▶	-0,029966	0,029966	20,999516	12,557852	0,066726	0,11158
	-0,052889	0,052889	17,697197	10,763725	0,108962	0,17915
	0,01619	-0,01619	14,620527	20,056071	0,236651	0,172515
	-0,036651	0,036651	20,741163	11,803087	0,424299	0,745607
	0,018086	-0,018086	14,303913	20,276046	0,363538	0,256461
	0,0244	-0,0244	13,318543	20,819539	0,341604	0,218528
	0,020602	-0,020602	13,897428	20,53008	0,059253	0,04011
	0,019517	-0,019517	14,070663	20,426154	0,287734	0,198207
	0,01746	-0,01746	14,407472	20,206043	0,314108	0,223968
	-0,025394	0,025395	20,87444	13,17457	0,739106	1,171075
	-0,009034	0,009034	19,047912	15,876331	0,39955	0,479368
	-0,009008	0,009008	19,043774	15,881044	0,205634	0,246586
	0,00735	-0,00735	16,1809	18,778483	0,296604	0,255576
	-0,026888	0,026888	20,939085	12,964761	0,423116	0,683364
	0,042636	-0,042634	11,289025	19,968033	0,038782	0,021926
	-0,013318	0,013316	19,681936	15,115064	0,068448	0,089129
	-0,04083	0,04083	20,261401	11,427546	0,106073	0,188071
	0,016466	-0,016467	14,574036	20,089674	0,056501	0,040988

Figura 26 - Tabela de atributos resultante da aplicação da Ferramenta 1

5.4 Ferramenta 2 – Índice de Potencial de Mobilidade Suave (IPMS)

5.4.1 Desenvolvimento da ferramenta

A ferramenta “IPMS” permite obter as áreas de serviço dos polos geradores de viagens em função do peso/relevância atribuído a cada categoria de equipamentos e dos tempos de percurso declarados como admissíveis nos inquéritos aplicados à população ativa. São ainda obtidos os valores da densidade populacional e levando em conta restrições relativas ao declive e à hierarquia das vias. Estes fatores, em conjunto, integram a análise multicritério espacial, resultando no cálculo dos índices de *walkability*, de *bikeability* (para bicicleta convencional e elétrica) e do potencial de mobilidade suave.

Optou-se por atribuir uma pontuação de 100, 75, 50, e 25 para as áreas de serviço correspondentes, respetivamente, a percursos de 5, 10, 15 e 20 minutos a partir da localização da entrada principal dos equipamentos considerados na análise. Para as áreas localizadas a mais de 20 minutos de tempo de percurso foi atribuída uma pontuação de 1. A tabela 19 apresenta os valores atribuídos em função do tempo de percurso.

Tabela 19 - Pontuação atribuída às áreas de serviço em função do tempo de percurso

Tempo de percurso (min.)	Pontuação (0 - 100)
0 – 5	100
5 – 10	75
10 – 15	50
15 – 20	25
+ 20	1

Considera-se que nas deslocações, os peões caminham na rede viária, nos passeios ou na berma, e que utilizam outros elementos do sistema pedonal, como escadas, elevadores, funiculares, pontes pedonais, túneis e caminhos em jardins e parques. Também as vias coletoras foram consideradas inaptas para a circulação pedonal devido às velocidades de circulação praticadas nestas vias.

Relativamente à circulação em bicicleta, as escadas, elevadores, funiculares e outros elementos da rede impróprios para a circulação são excluídos da análise. O mesmo acontece com as vias coletoras.

A pontuação atribuída em função do tempo de percurso (ver tabela 19) é multiplicada pelo peso do equipamento ao qual a área de serviço corresponde. O peso do equipamento representa a sua atratividade pedonal e ciclável.

As áreas de serviço são calculadas para cada classe de equipamentos (educação, lazer, desporto, cultura, saúde, serviços, transportes, comércio e turismo), sendo depois somadas e normalizadas.

O cálculo do valor a adotar para o critério dos polos geradores de viagens é efetuado com recurso à expressão 5.

$$PG = \sum_i^n w_n \times i_n$$

Expressão 5

Onde,

PG representa o critério dos polos geradores de viagens.

w representa o peso de cada subcritério.

i representa a pontuação das áreas de serviço de cada subcritério.

No que respeita ao critério da densidade populacional, este é calculado a partir dos dados dos Censos 2011 (INE, 2011). O número total de residentes por subsecção estatística e a área territorial de cada subsecção permite calcular a densidade populacional em habitantes por m².

As restrições relativas ao declive dos troços da rede e à classificação das vias são conseguidas através de condições do tipo *if statement*.

Os resultados dos polos geradores e da densidade populacional são normalizados numa escala de 0 a 100, para que possam ser combinados na análise multicritério. A normalização é alcançada através da ferramenta *Raster Calculator*, aplicando a expressão 6.

$$x_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \times 100$$

Expressão 6

Onde,

x_i representa o valor normalizado do critério.

R_i representa o valor a ser normalizado.

R_{max} representa o valor máximo do critério.

R_{min} representa o valor mínimo do critério.

Do ponto de vista do utilizador é necessário: informação relativa à área de estudo; a rede viária, incluindo informação indicadora da presença/ ausência de passeios; a *Network Dataset* com os atributos de custo (tempo) e restrições consideradas; a localização dos equipamentos com

informação relativa ao peso/ relevância de cada um; e a Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI) com informação sobre o número de residentes.

A segunda ferramenta, idealizada para ser utilizada após a aplicação da ferramenta 1 “Tempo de percurso pedonal e em bicicleta convencional e elétrica” e da criação da *Network Dataset*, possui três processos importantes: cálculo das áreas de serviço, cálculo das variáveis (valores dos critérios), e análise multicritério com construção da rede final. A figura 27 apresenta uma vista global do modelo desenvolvido no *ModelBuilder* para o cálculo dos índices de *walkability*, de *bikeability* e do potencial de mobilidade suave. Uma vista global mais ampliada pode ser consultada no anexo 2.

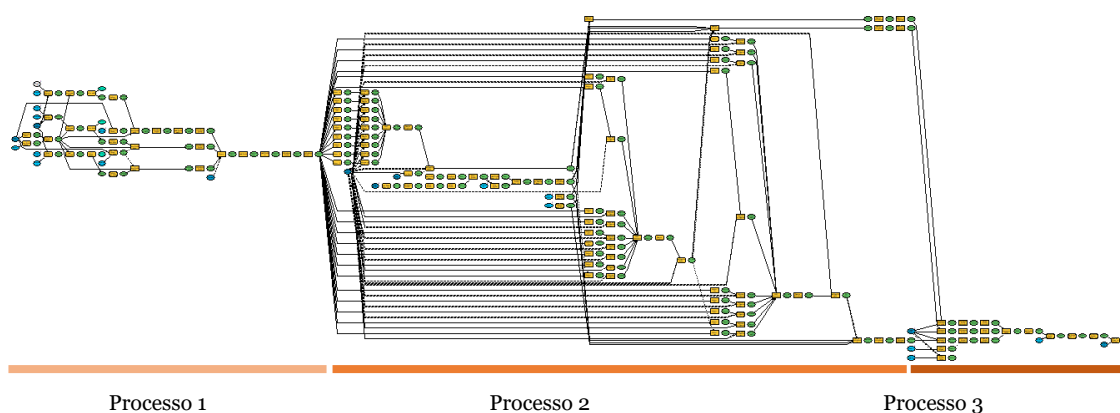


Figura 27 - Ferramenta 2: Índice de Potencial de Mobilidade Suave (IPMS)

O processo que trata o cálculo das áreas de serviço alberga dez parâmetros, integra a *Network Dataset*, juntamente com os custos e restrições considerados, a localização dos equipamentos e respetivos pesos. Solicita também a seleção do campo indicador da categoria de cada equipamento. Os parâmetros são: “Input rede viária”, “Input Network Dataset”, “Impedance Attribute (pedonal)”, “Restrictions (pedonal)”, “Impedance Attribute (bicicleta)”, “Restrictions (bicicleta)”, “Impedance Attribute (e-bike)”, “Restrictions (e-bike)”, “Campo indicador do peso dos equipamentos (pedonal)” e “Campo indicador do peso dos equipamentos (bicicleta)”.

A figura 28 mostra um pormenor da ferramenta correspondente ao cálculo das áreas de serviço dos polos geradores de viagens associadas à deslocação pedonal.

As ferramentas presentes na *toolbox Network Analyst Tools* foram empregadas para o cálculo das áreas de serviço.

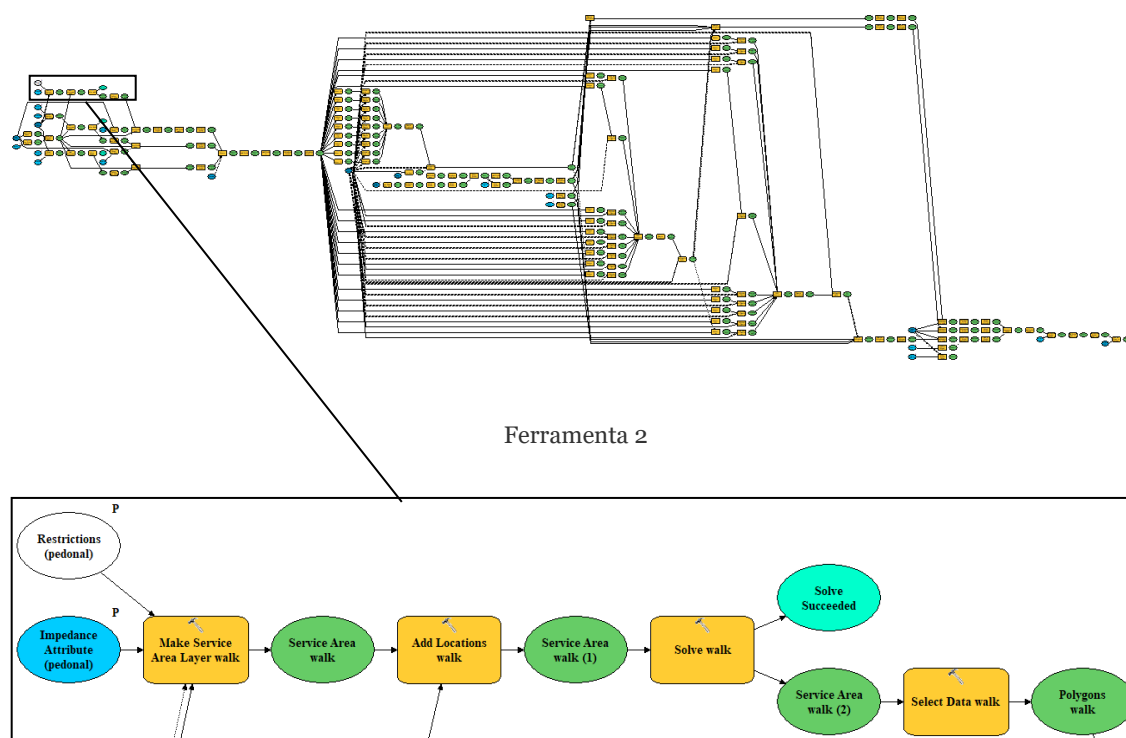


Figura 28 - Processo 1 da Ferramenta 2: criação das áreas de serviço relativas à deslocação pedonal

Relativamente ao cálculo das variáveis (valores dos critérios), o processo abrange o cálculo de PG, que consiste na classificação das áreas de serviço tendo em conta a distância (*break values*) e os pesos atribuídos a cada categoria de equipamentos, assim como o cálculo da densidade populacional.

No cálculo de PG, as ferramentas *Select*, *Polygon to Raster*, *Cell Statistics* e *Raster Calculator* foram utilizadas repetidamente.

O cálculo da densidade populacional necessita de três parâmetros: informação vetorial respeitante à área de estudo e à Base Geográfica de Referência da Informação (BGRI), e informação alfanumérica respeitante ao número de residentes. A área de estudo é necessária para recortar a *shapefile* da BGRI. Esta fase questiona qual a população a considerar, se todos os residentes ou a população com idade compreendida entre os 14 e 65 anos. Esta opção tenciona filtrar o cálculo da densidade populacional à população que efetua deslocações pendulares.

Em ambiente *ModelBuilder*, o cálculo da densidade populacional (hab/m²) utiliza as ferramentas *Add Field*, *Calculate Field*, *Copy Rows*, *Add Geometry Attributes*, *Polygon to Raster* e *Raster Calculator*. A ferramenta *Raster Calculator* tem o propósito de normalizar a escala, de 0 (mínimo) a 100 (máximo).

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

Para a determinação do IPMS, esta fase solicita o peso relativo dos polos geradores e da densidade populacional. Por *default*, são utilizados os pesos de 0,70 e 0,30, respetivamente, no entanto outras distribuições podem ser consideradas.

A título de exemplo, a figura 29 mostra o processo de cálculo de PG para a deslocação em bicicleta elétrica.

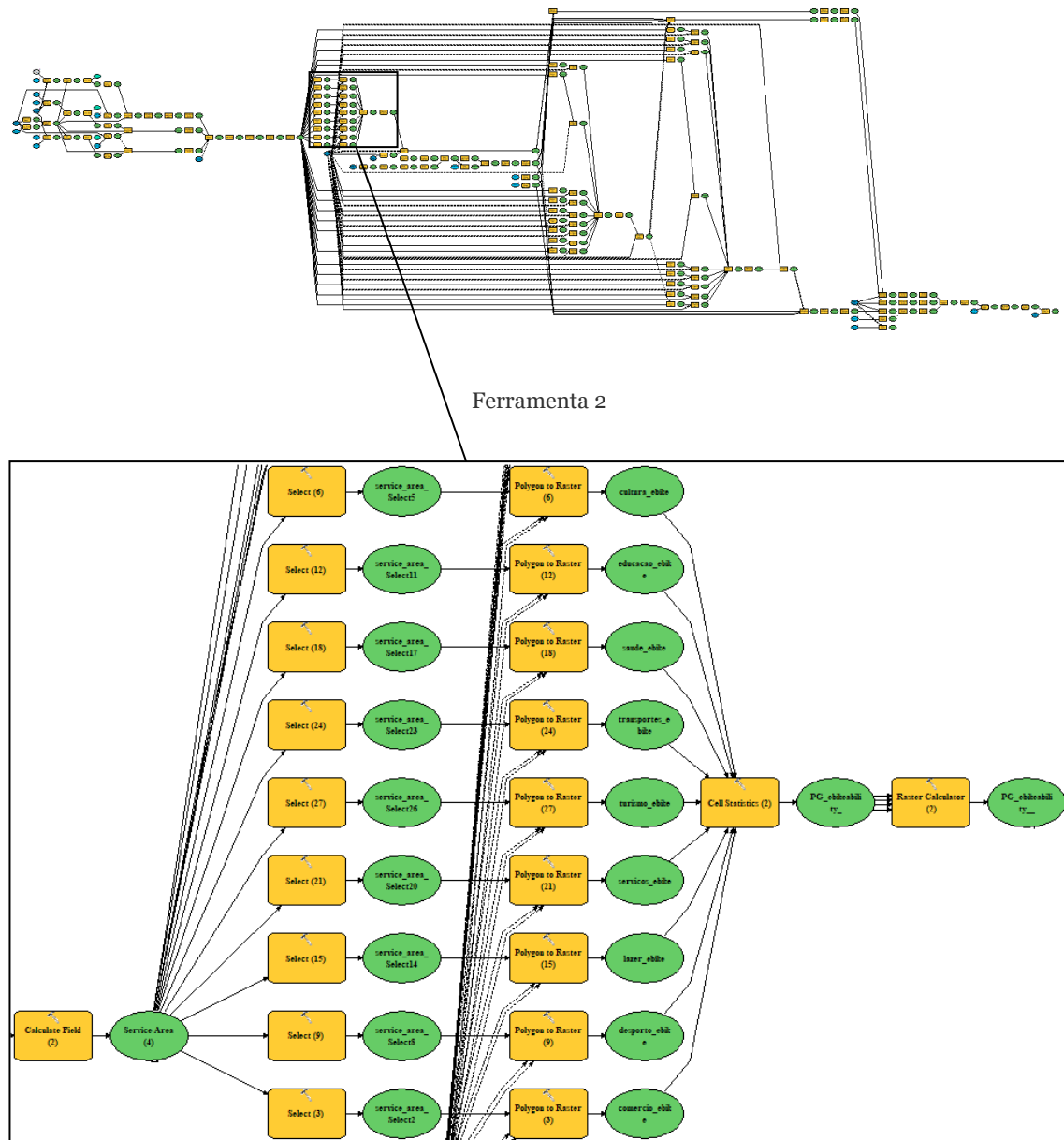


Figura 29 - Processo 2 da Ferramenta 2: criação dos polos geradores referentes à deslocação em bicicleta elétrica

A fase responsável pela análise multicritério e construção da rede final calcula o potencial de mobilidade pedonal, em bicicleta convencional e elétrica. Nesta fase, os índices de *walkability* e de *bikeability* são transferidos para uma só *shapefile*.

Para calcular o potencial de mobilidade pedonal é necessário penalizar os troços sem passeio, com exceção dos troços classificados como jardins, pontes pedonais, túneis, elevadores e escadas. Para isso, esta fase alberga os parâmetros do campo numérico indicador da presença/ ausência de passeio e a penalização a dar à sua ausência (expressão SQL).

O parâmetro “cálculo final” tem a finalidade de seleccionar o peso que cada índice, *walkability* e *bikeability*, tem no cálculo do potencial de mobilidade suave. Esta secção da ferramenta também atribui uma descrição a cada troço da rede analisada em função do valor do índice obtido (pedonal, ciclável ou de mobilidade suave): sem potencial, , sem potencial para a bicicleta convencional, sem potencial para a bicicleta elétrica, muito reduzido, reduzido, razoável, elevado e muito elevado.

A figura 30 apresenta o processo de convergência dos índices de *walkability* e de *bikeability* num só ficheiro vetorial (linha).

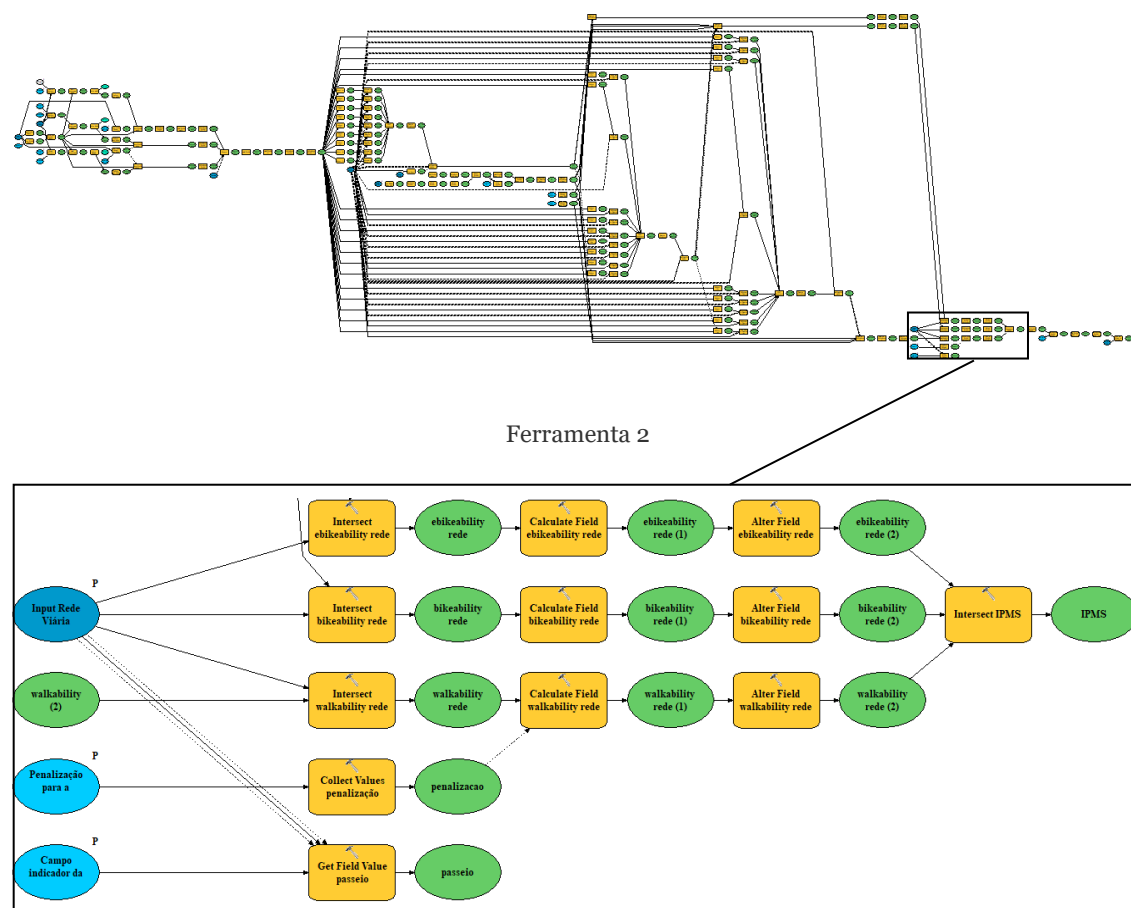


Figura 30 - Processo 3 da Ferramenta 2: passagem dos resultados para a rede viária

5.4.2 Interface da ferramenta

A ferramenta é composta por vinte parâmetros (figura 31). A ferramenta solicita quatro ficheiros vetoriais, um campo de texto, uma *Network Dataset*, a seleção de quatro campos, e quatro

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

expressões SQL. A ferramenta processa a análise multicritério, calculando os índices de *walkability* e de *bikeability* (convencional e elétrica) e moldando os pesos das variáveis à medida do utilizador.

Solicita o peso dos polos geradores de viagens e da densidade populacional. Os pesos considerados por defeito são de 70% e 30% respetivamente. É também solicitado o valor da penalização a atribuir aos troços sem passeio, fator integrante no cálculo do índice de *walkability*. A penalização considerada por defeito é de 25%.

O cálculo do Índice do Potencial de Mobilidade Suave requer a soma ponderada de ambos os índices. Os valores dos pesos considerados por defeito é de 50% para potencial pedonal (*walkability*) e de 50% para o potencial de bicicleta convencional (*bikeability*).

No campo da densidade populacional existe a possibilidade de considerar apenas a população com idade compreendida entre os 14 e 65 anos, em detrimento de toda a população. Esta alternativa pretende evitar *clusters* com população envelhecida, que poderiam enviesar os resultados.

A *shapefile* resultante contém o valor, numa escala de 0 a 100, do potencial dos troços da rede analisada para a circulação pedonal (*walkability*), com bicicleta convencional e elétrica (*bikeability*), e de mobilidade suave (que incorpora os anteriores).

As figuras 31, 32 e 33 mostram a *interface* da ferramenta. A figura 34 apresenta a tabela de atributos resultante da mesma.

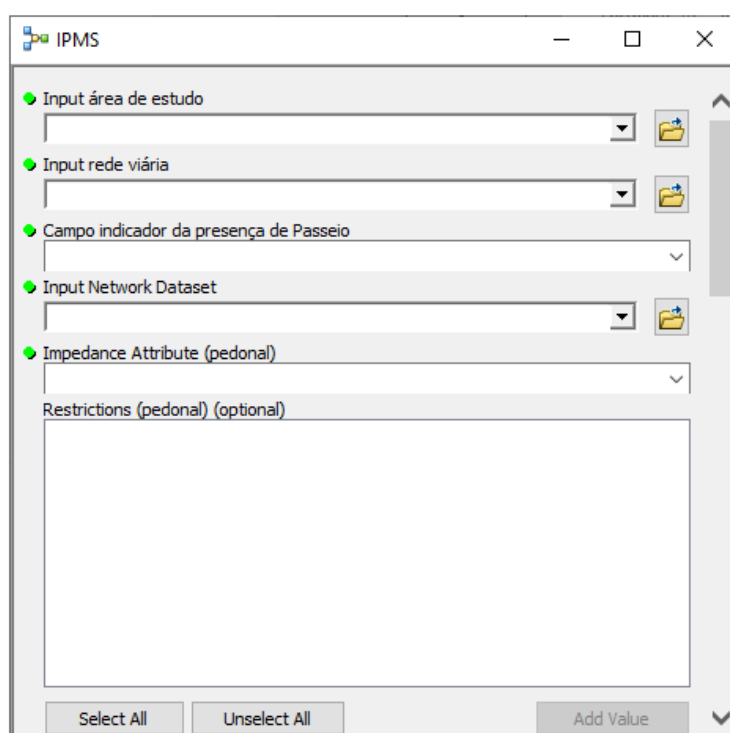


Figura 31 - Interface da Ferramenta 2 – parte 1

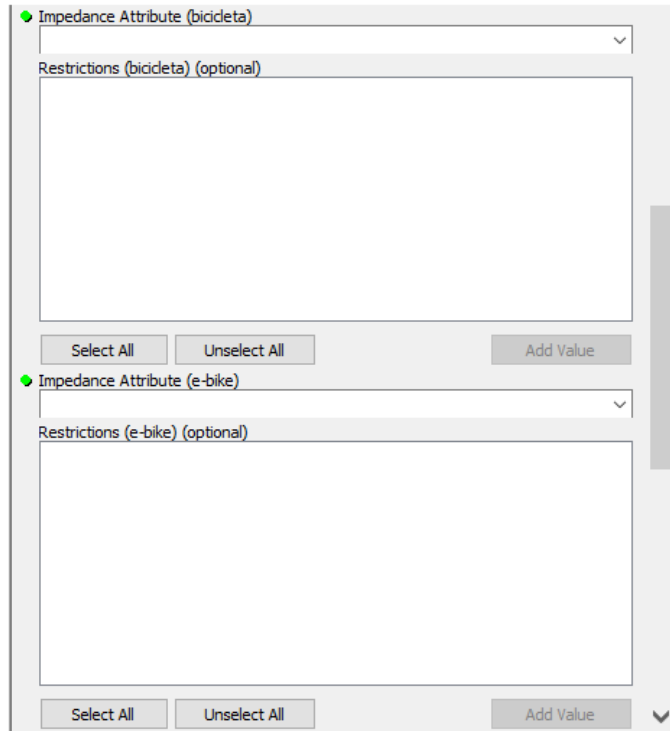


Figura 32 - Interface da Ferramenta2 – parte 2

Automatização de um modelo de análise espacial em SIG para a avaliação do potencial de mobilidade suave

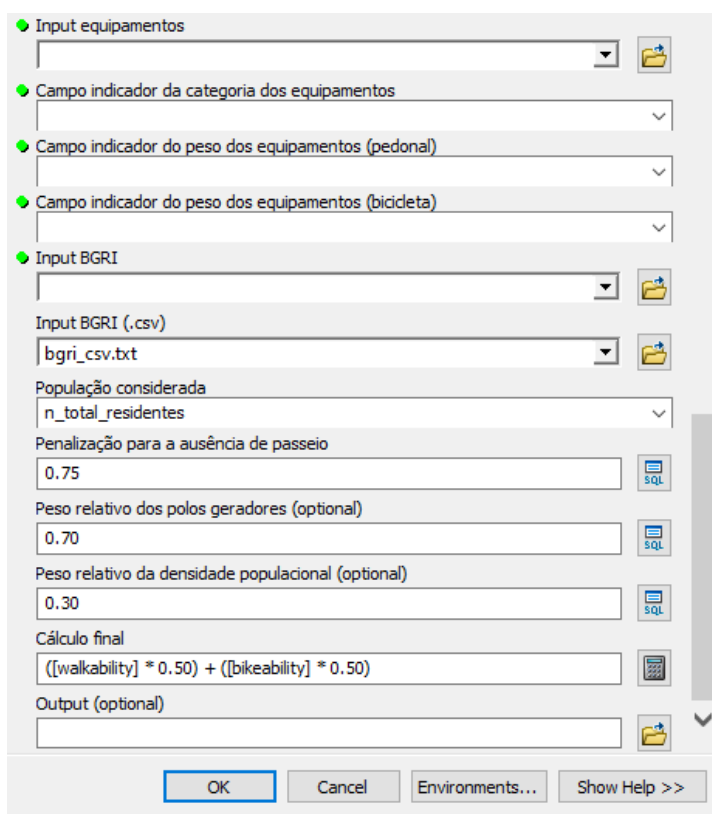


Figura 33 - Interface da Ferramenta 2 – parte 3

OBJECTID *	Shape *	bikeability	walkability	ebikeability	IPMS	IPMS classe	Shape Length
1	Polyline ZM	64	39	68	51,5	Razoável	23,353459
2	Polyline ZM	0	39	68	19,5	Sem potencial para bicicleta convencional	32,138638
3	Polyline ZM	63	39	68	51	Razoável	57,666079
4	Polyline ZM	64	45	69	54,5	Razoável	85,82165
5	Polyline ZM	64	39	68	51,5	Razoável	55,33202
6	Polyline ZM	64	39	69	51,5	Razoável	5,52065
7	Polyline ZM	63	32	65	47,5	Razoável	86,666925
8	Polyline ZM	63	32	65	47,5	Razoável	75,827708

Figura 34 - Tabela de atributos resultante da aplicação da Ferramenta 2

6. Caso de estudo

6.1. Enquadramento

O perímetro urbano do município da Covilhã é a área de estudo do presente trabalho. O concelho da Covilhã está incorporado no distrito de Castelo Branco, na sub-região da Cova da Beira. Alberga uma área de aproximadamente 555,6 km² e 51797 residentes (CM Covilhã, 2021). O município é constituído por 21 freguesias: Aldeia de São Francisco de Assis, Barco e Coutada, Boidobra, Cantar-Galo e Vila do Carvalho, Casegas e Ourondo, Cortes do Meio, Covilhã e Canhoso, Dominguiço, Erada, Ferro, Orjais, Paul, Peraboa, Peso e Vales do Rio, São Jorge da Beira, Sobral de São Miguel, Teixoso e Sarzedo, Tortosendo, Unhais da Serra, Vale Formoso e Aldeia do Souto, e Verdelhos (figura 35).

A cidade da Covilhã, capital e sede de concelho, é célebre por ser uma cidade de montanha, com a Serra da Estrela como pináculo desse renome.

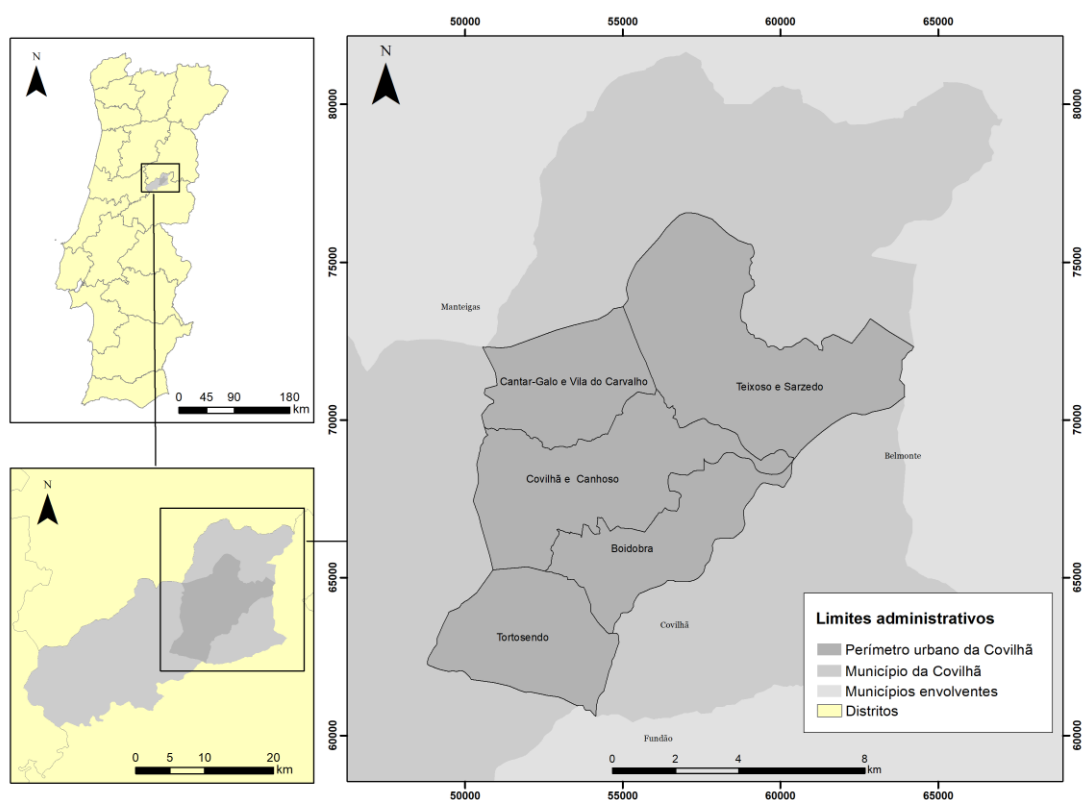


Figura 35 - Enquadramento geográfico da área de estudo (limites administrativos atuais) (Fonte: CAOP, 2019)

O perímetro urbano do concelho alberga cinco freguesias: Covilhã e Canhoso, Boidobra, Tortosendo, Cantar Galo e Vila do Carvalho, e Teixoso. Pelo facto de os censos datarem de 2011, sendo os seus dados essenciais no método utilizado, o estudo considera o perímetro urbano com

as freguesias antes da sua reorganização de 2013: Conceição, São Martinho, São Pedro, Santa Maria, Canhoso, Tortosendo, Teixoso, Cantar Galo, Vila do Carvalho, e Boidobra (figura 36).



Figura 36 - Enquadramento geográfico da área de estudo (limites administrativos antigos) (Fonte: Passos, 2018)

A população do concelho tem, na sua maioria (54,4%), idade compreendida entre os 25 e 64 anos (INE, 2011).

No âmbito da mobilidade, os residentes do município da Covilhã utilizam o transporte individual em 67,5% das deslocações pendulares (tabela 20) (INE, 2011). O modo pedonal é o modo escolhido por 17% da população, já o transporte coletivo é utilizado por 15,1% (tabela 20) (INE, 2011). Relativamente ao modo pedonal, o município covilhanense apresenta valores ligeiramente superiores à média nacional, que corresponde a 16,4%. Este aspeto levanta questões sobre o impacto do declive nas deslocações em modos ativos, contudo, o valor pode ser inflacionado pelo facto de se tratar de uma cidade universitária. Os estudantes tendem a deslocar-se a pé de forma mais frequente que outros segmentos, por razões de custo, atitudes e outras (Cattaneo et al., 2018). O uso do transporte coletivo é menor que a média nacional em cinco valores percentuais, o que pode refletir alguns problemas no seu planeamento.

No conjunto de freguesias que compõem o perímetro urbano do concelho da Covilhã, o modo pedonal é o mais utilizado para os movimentos pendulares nas freguesias do centro da cidade, em especial nas de São Pedro e Santa Maria (tabela 20). O uso da bicicleta no município da

Covilhã é bastante inferior à média nacional, já por si baixo. Neste contexto, a freguesia de Vila do Carvalho é a que apresenta maior percentagem (tabela 20).

Tabela 20 - Meios de transporte mais utilizados nos movimentos pendulares da população em Portugal e no município da Covilhã

Local de residência	A pé (%)	Bicicleta (%)	Automóvel ligeiro e motociclo (%)	Transporte coletivo (%)	Outro (%)
Portugal	16,4	0,5	62,8	20	0,3
Continente	16,4	0,5	62,8	20	0,3
Município da Covilhã	17	0,1	67,4	15,1	0,3
Conceição	18,9	0,1	69,3	11,7	0
São Martinho	18,5	0	72,5	8,9	0,1
São Pedro	26,3	0,1	64,5	8,8	0,3
Santa Maria	23,3	0,1	70,5	6,1	0,1
Canhoso	7,6	0,1	79,6	12,5	0,2
Tortosendo	15,9	0,1	72,3	11,4	0,3
Teixoso	15,1	0,1	67,1	17,1	0,7
Cantar-Galo	6	0,1	67,9	25,8	0,1
Vila do Carvalho	8	0,3	62,4	29,1	0,3
Boidobra	9,2	0	76,4	14,1	0,2

Relativamente à duração das viagens pendulares, os residentes da Covilhã demoram, em média, cerca de 16 minutos a chegar ao local de trabalho ou escola, menos 5 minutos que a média nacional (tabela 21) (INE, 2011). Essa tendência verifica-se tanto nas deslocações em transporte individual, como no transporte coletivo (tabela 21) (INE, 2011). Neste âmbito, o perímetro urbano destaca-se como sendo a área em que os residentes menos tempo demoram a chegar ao emprego/ escola. Em contraste, as freguesias mais distanciadas deste perímetro necessitam de mais tempo para chegar ao destino (Tomé et al., 2019). As pessoas da antiga freguesia de São Pedro demoram cerca de 13,80 minutos, contrastando com a freguesia de Sobral de São Miguel, em que demoram, em média, 28,18 minutos (INE, 2011).

Tabela 21 - Duração média dos movimentos pendulares da população em Portugal e no município da Covilhã

Local de residência	Duração média das viagens pendulares (min)	Duração média das viagens pendulares (min) - transporte individual	Duração média das viagens pendulares (min) – transporte coletivo
Portugal	20,02	18	34,28
Município da Covilhã	16,05	15,49	25,28

6.2 Dados

Os dados da informação geográfica devem ser sempre acompanhados de metadados, de modo a que seja possível identificar a fonte e os elementos básicos dos dados utilizados para o estudo. Estes dados têm por objetivo resumir as características dos dados da informação geográfica utilizada. A tabela 22 apresenta esta informação para os dados considerados no presente caso de estudo.

A disponibilidade dos dados espaciais foi relevante na escolha das variáveis a considerar no cálculo do potencial de mobilidade suave. O presente método considera a localização dos polos geradores de viagens, a densidade populacional e as características da rede viária como fatores que explicam o potencial de mobilidade pedonal e com bicicleta.

Os dados utilizados apresentam formato matricial, vetorial e alfanumérico. Para o cálculo do declive, com impacto na definição das áreas de influência dos polos geradores de viagens e nas características da rede viária, foi utilizado o Modelo Digital do Terreno (MDT) de cinco metros. Para as restantes variáveis foram utilizados ficheiros vetoriais. Para obter as áreas de serviço dos polos geradores foram ainda necessários dados de localização dos principais equipamentos da cidade, georreferenciados (pontos), e a informação vetorial e alfanumérica da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI) do INE (censos 2011) no que concerne ao número de residentes. A rede viária (linhas) foi também utilizada na análise.

Os dados pontuais e lineares, respeitantes à localização dos equipamentos e à rede viária, foram disponibilizados pelo Eng. André Nogueira, correspondendo aos dados utilizados num estudo anterior relativo à mobilidade pedonal da rede viária da Covilhã (Nogueira, 2020). A informação relativa à presença/ ausência de passeios na rede viária considerada foi recolhida e disponibilizada pela Eng. Pollyanna Lucena.

Importa referir que a rede utilizada para o presente estudo foi previamente tratada e validada pelo Eng. André Nogueira em 2020, tendo sido utilizada sem alterações na aplicação da metodologia proposta ao caso de estudo. Para além das vias tradicionais, importa referir que a rede da área de estudo incorpora várias escadarias, pontes pedonais, caminhos pedonais e cinco elevadores/ funiculares (elementos especiais da rede pedonal).

Tabela 22 - Resumo dos dados utilizados

Informação	Variável	Tipo de informação	Sistema de coordenadas	Fonte de dados
Equipamentos	Polos geradores de viagens	Vetorial (pontos)	ETRS_1989_Portugal_TM06	Disponibilizado pelo Eng. André Nogueira
Número de residentes	Densidade populacional	Vetorial (polígonos) e alfanumérica	ETRS_1989_Portugal_TM06	INE (censos 2011)
Rede viária	Rede viária	Vetorial (linhas)	ETRS_1989_Portugal_TM06	Disponibilizado pelo Eng. André Nogueira
MDT	Declive	Raster (5 m)	ETRS_1989_Portugal_TM06	Disponibilizado pelo DECA-UBI
Passeios	Presença de passeios	Vetorial (linhas)	ETRS_1989_Portugal_TM06	Disponibilizado pela Eng. Pollyanna Lucena

Todos os dados foram tratados em ambiente SIG com a utilização do *software* ArcGIS (versão 10.7). O sistema de coordenadas PT-TM06/ETRS89 – *European Terrestrial Reference System* 1989 foi o considerado durante todo o processo de análise.

6.3 Tratamento das variáveis

6.3.1 Rede viária

O perímetro urbano do município da Covilhã, área de estudo, possui cerca de 398,9 km de rede viária. Cerca de 49,5 km (12,4%) correspondem a vias distribuidoras principais, 114,1 km (28,6%) a vias distribuidoras locais e 233,6 km (56,1%) a vias de acesso local. Possui ainda um conjunto de elementos da rede pedonal que correspondem a 0,02 km de túnel, 0,45 km de pontes pedonais, 0,95 km de escadarias e 0,34 km relativos ao conjunto de elevadores e funicular da cidade (figura 37).

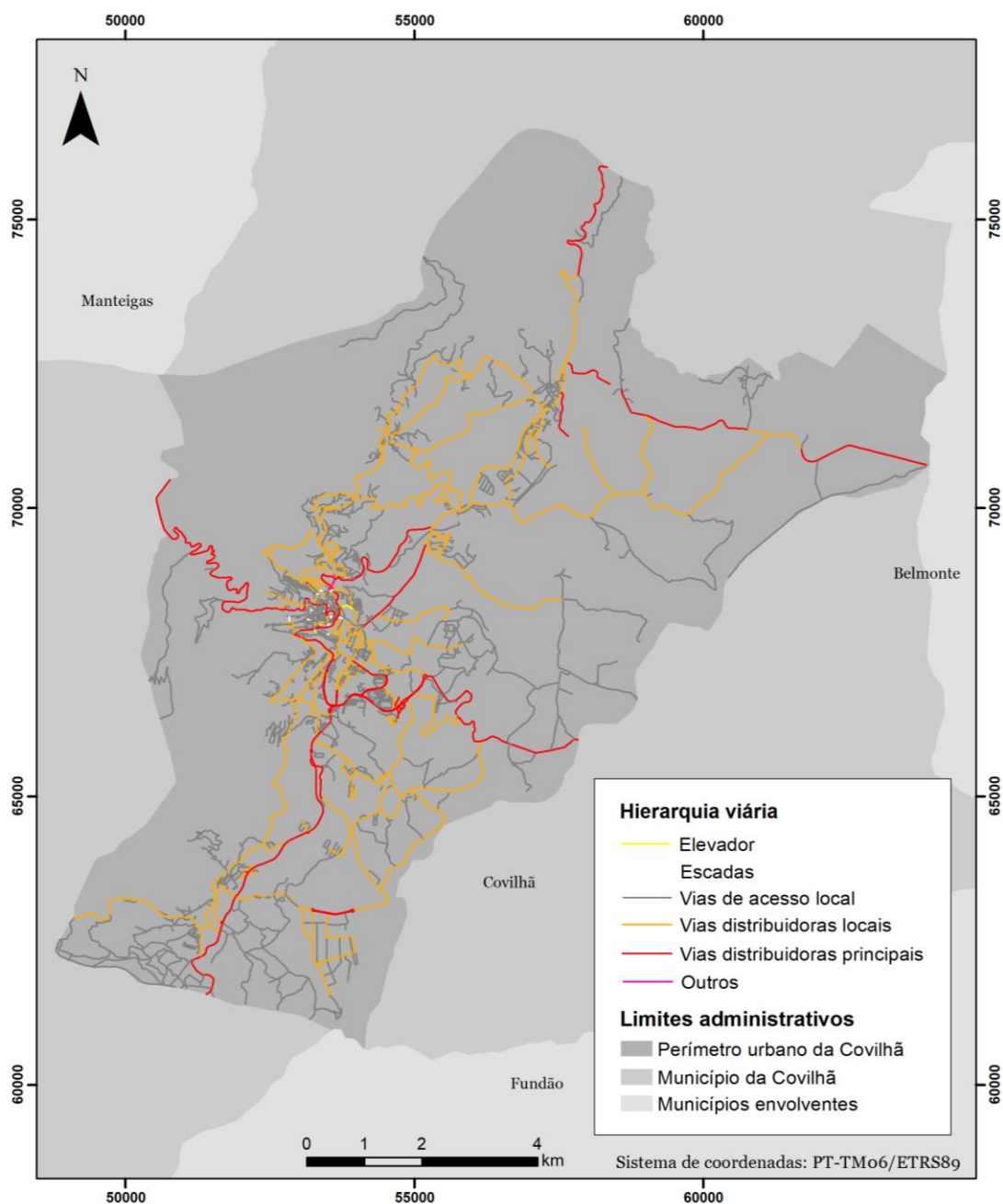


Figura 37 - Hierarquia viária da rede do perímetro urbano do município da Covilhã

Em relação aos elevadores e funicular, ao contrário das restantes vias, foram consideradas as velocidades obtidas por observação *in situ* pelo Eng. André Nogueira (Nogueira, 2020). A tabela 23 apresenta a velocidade de cada elevador e do funicular de São João, localizados na área de estudo.

Tabela 23 - Velocidade dos elevadores da área de estudo

Nome	Velocidade (km/h)
Elevador do Jardim (junto ao Jardim Público)	2,78
Elevador do Jardim (junto à Ponte Pedonal)	2,54
Elevador da Goldra	3,6
Funicular de São João	7,2
Elevador de Santo André	3,6

Relativamente ao declive, a topografia do perímetro urbano da Covilhã é acidentada. Para determinar a inclinação longitudinal dos percursos efetuou-se a sobreposição do MDT (5m) com a rede viária.

Da rede viária utilizada neste estudo, 62,89% possui um gradiente entre 0% e 5%, 26,41% entre 5% e 10% e 10,7% inclinações superiores a 10%. A figura 38 apresenta a distribuição das inclinações da rede viária no perímetro urbano da Covilhã, onde o gradiente dos troços aparenta ser mais acentuado no centro histórico da cidade.

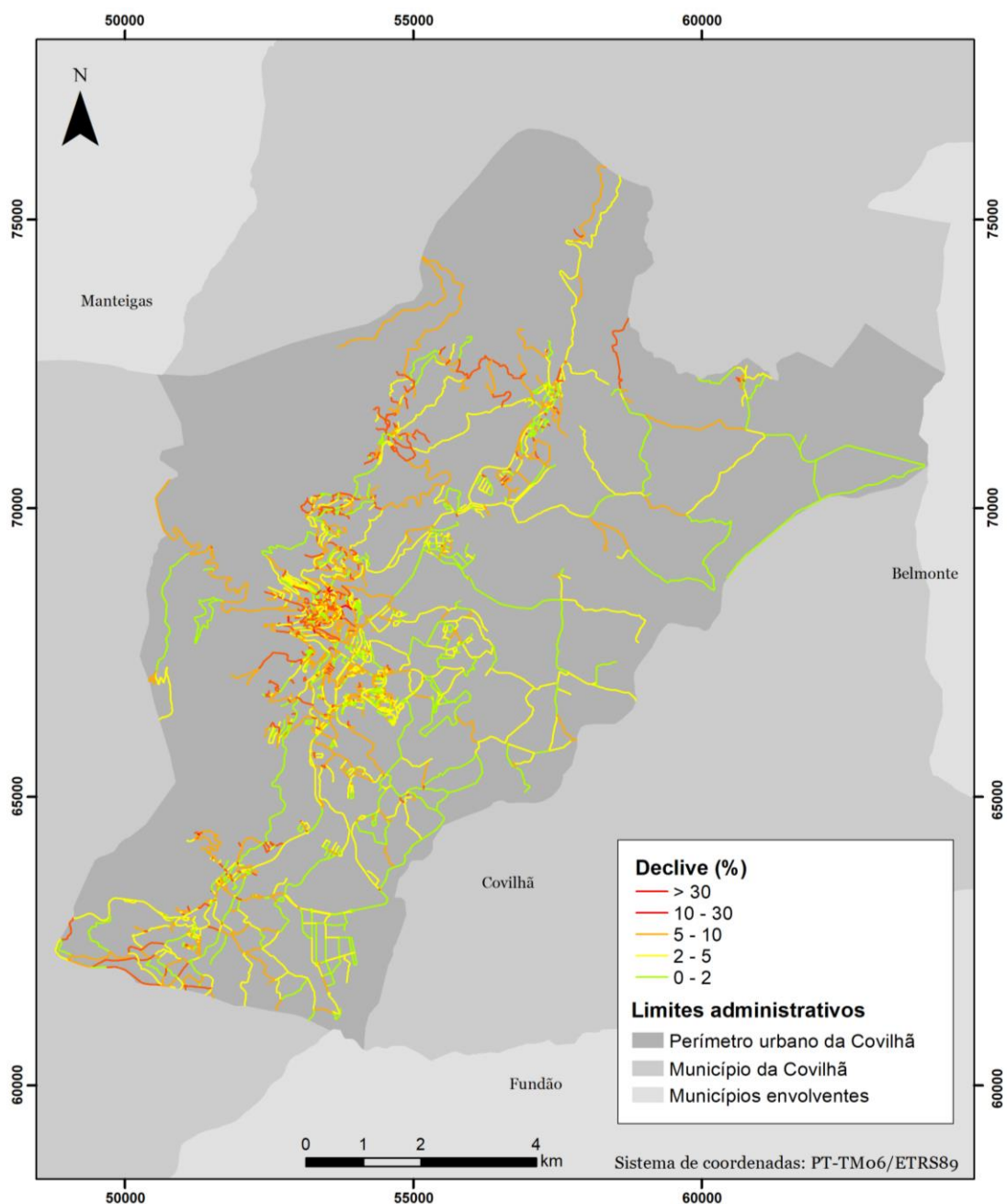


Figura 38 - Declive da rede viária do perímetro urbano do município da Covilhã

No que concerne à presença de passeio, 53% dos troços possui este tipo de infraestrutura. A figura 39 mostra que os passeios localizam-se sobretudo no centro histórico e na área de expansão urbana da cidade.

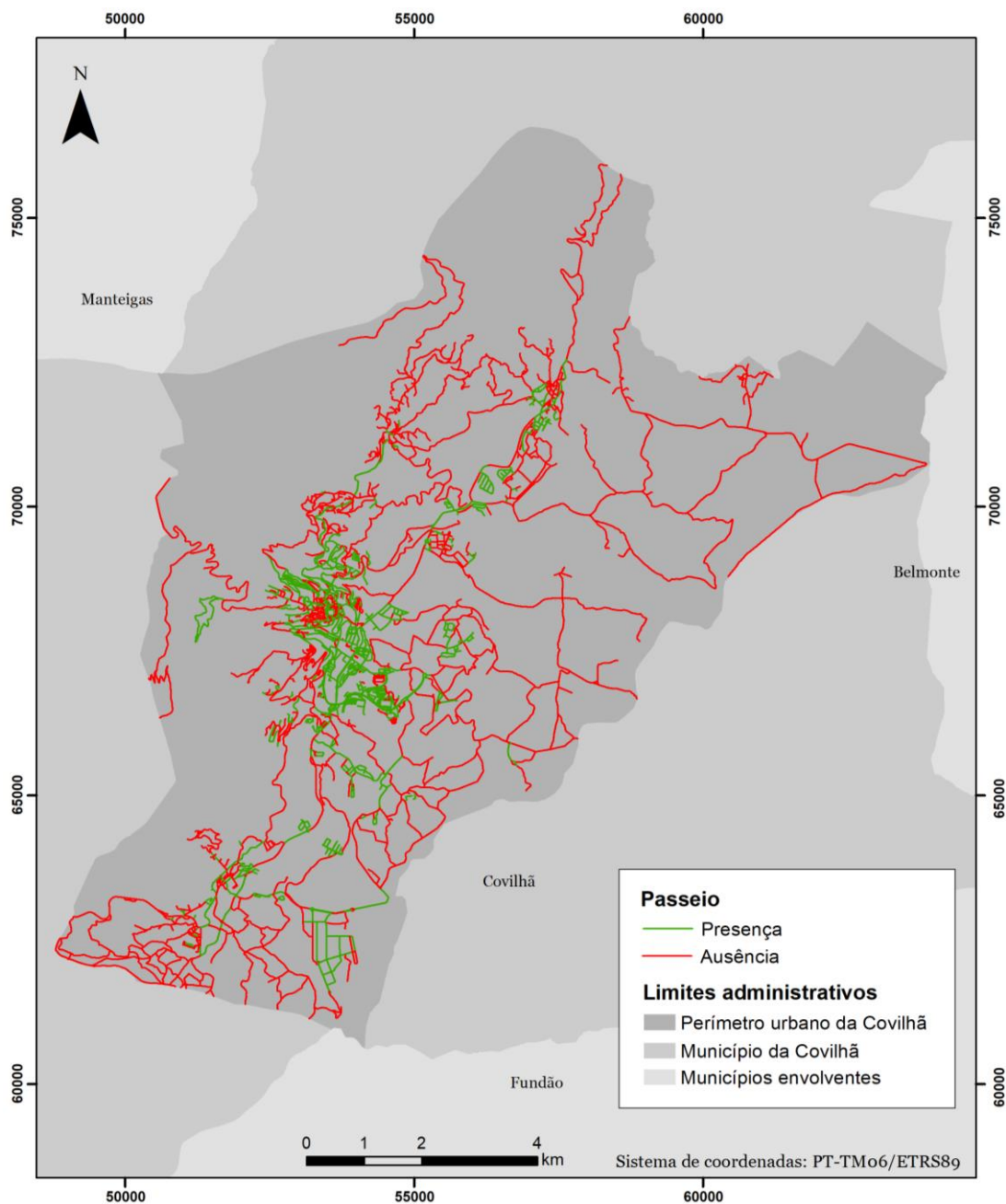


Figura 39 - Presença de passeios na rede viária do perímetro urbano do município da Covilhã

6.3.2 Polos geradores de viagens

A área de estudo alberga vários equipamentos de diferentes índoles (comércio, educação, saúde, transportes, desporto, lazer, cultura, serviços e turismo), tendo sido considerados na análise os 75 mais importantes. Os equipamentos foram georreferenciados na entrada/ saída principal do edificado. A tabela 24 lista os equipamentos considerados.

Tabela 24 - Principais equipamentos do município da Covilhã – parte 1

Categoria	Equipamentos
Comércio	Covilhã Shopping
	Intermarché
	Serra Shopping
	Lidl
	Mercado Municipal da Covilhã
	Sporting Shopping Center
Educação	UBI – Faculdade de Ciências da Saúde
	UBI – Faculdade de Ciências / Faculdade de Artes e Letras
	UBI – Faculdade de Engenharia
	UBI – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas
	UBI – Polo Desporto/Residências
	Escola Secundária Quinta das Palmeiras
	Escola Secundária Frei Heitor Pinto
	Escola Secundária Campos Melo
	Escola Pêro da Covilhã
	Escola Básica 2º e 3º ciclo do Teixoso
	Escola Básica Integrada de São Domingos
	Escola Básica 2º e 3º ciclo do Tortosendo
	Escola Profissional de Artes da Beira Interior
	Escola Básica “A Lã e a Neve”
	Escola Básica da Boidobra
	Escola Básica de Santo António
	Escola Básica do Refúgio
	Escola Básica de São Silvestre
	Escola Básica do Rodrigo
Escola Básica nº1 do Teixoso	
Escola Básica de Vila do Carvalho	
Escola Básica dos Penedos Altos	
Saúde	Centro de Saúde da Covilhã
	Centro Hospitalar Cova da Beira
	CEDIR – Centro de Diagnostico da Covilhã
	Centro de Saúde do Tortosendo
	Posto Médico de Vila do Carvalho
Transportes	Estação Ferroviária da Covilhã
	Central de Camionagem
	Elevador do Jardim (Ponte)
	Elevador do Jardim (Jardim)

Tabela 26 - Principais equipamentos do município da Covilhã – parte 2

Categoria	Equipamentos
Desporto	Complexo Desportivo da Covilhã
	ADE – Associação Desportiva da Estação
	Estádio José Santos Pinto
	Piscina Municipal
Lazer	Jardim das Artes
	Jardim Municipal
	Jardim da Goldra
	Jardim do Lago
Cultura	Museu de Arte Sacra
	Museu dos Lanifícios
	Tinturaria – Galeria de Exposições
	Teatro Cine
Serviços	Finanças
	Câmara Municipal da Covilhã
	CTT – Posto de correios da Covilhã
	ADC – Águas da Covilhã, EM
	IEFP – Instituto do Emprego e Formação Profissional
	Biblioteca Municipal
	Esquadra PSP
	CTT – Posto de correios de São Lazaro
	Tribunal
	Junta de Freguesia da Covilhã
	Posto de Turismo
	Biblioteca Central da UBI
	Posto da GNR
	Estaleiros da Câmara Municipal da Covilhã
	Junta de Freguesia do Tortosendo
	Junta de Freguesia do Teixoso
	Junta de Freguesia da Boidobra
	Junta de Freguesia da Vila do Carvalho
	Junta de Freguesia de Cantar-Galo
Segurança Social	
Turismo	Hotel Pura Lã
	Hotel TRYP Dona Maria
	Hotel Santa Eufémia
	Hotel Solneve
	Hotel Covilhã Jardim
	Covilhã Parque Hotel

A figura 40 apresenta a distribuição espacial dos equipamentos no perímetro urbano da Covilhã, representados por categoria.

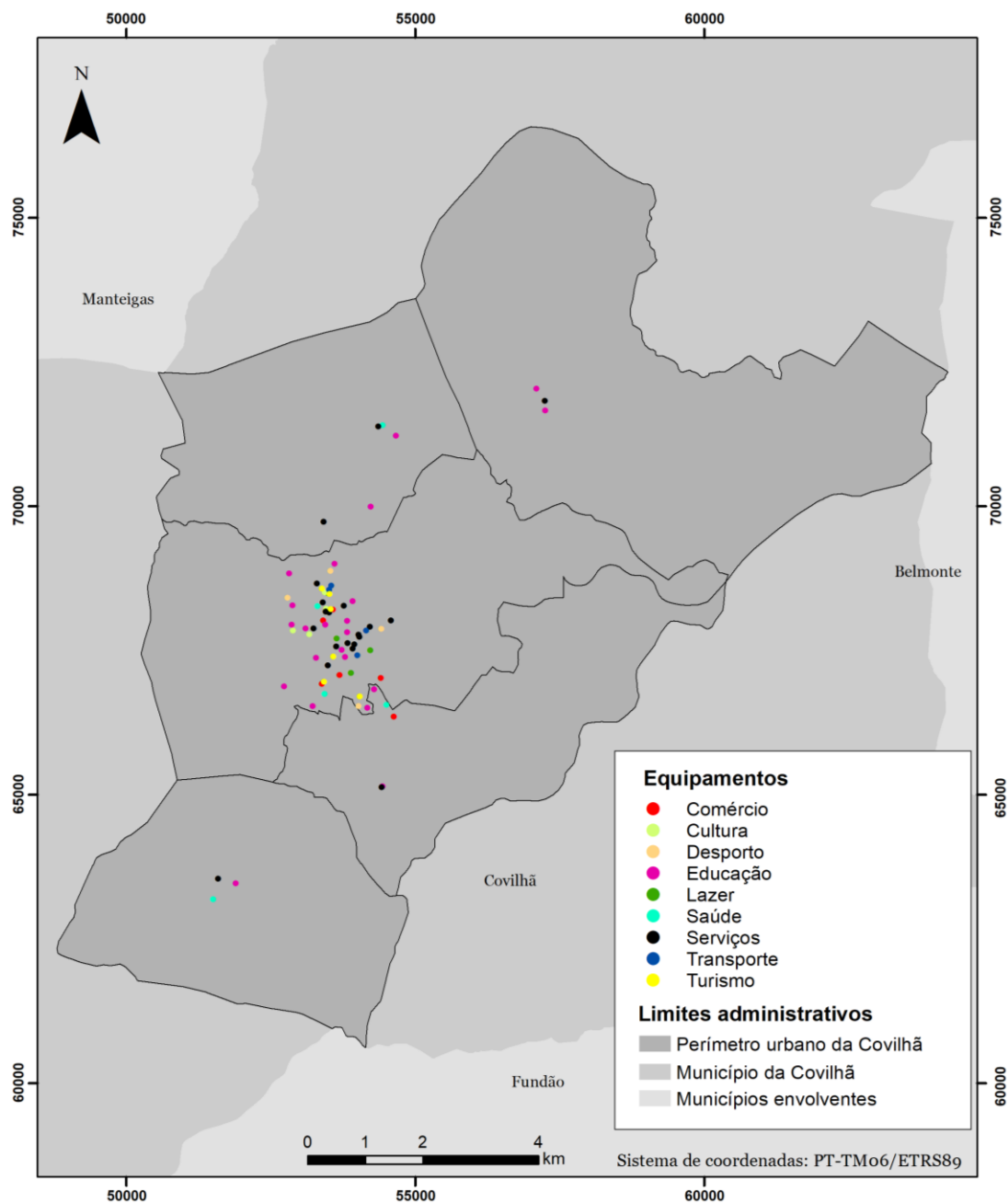


Figura 40 - Principais equipamentos do município da Covilhã, por categoria de equipamento

Com base nos inquéritos realizados por Passos (2018) e Nogueira (2020) à população ativa da Covilhã (preferências declaradas), foram atribuídos pesos a cada categoria de equipamento (relevância). A tabela 26 apresenta os pesos para cada categoria de equipamento, utilizados na análise dos índices de *walkability* e *bikeability*.

Tabela 26 - Pesos (relevância) por categoria de equipamento

Categoria	Peso relativo (0 - 1)	
	<i>Walkability</i>	<i>Bikeability</i>
Comércio	0,63	0,71
Educação	0,79	0,75
Saúde	0,70	0,68
Transportes	0,82	0,71
Desporto	0,58	0,78
Lazer	0,65	0,82
Cultura	0,54	0,73
Serviços	0,68	0,62
Turismo	0,80	0,60

A informação relativa à localização dos equipamentos, respetivos pesos e a rede viária permitiu obter o valor a atribuir ao critério dos polos geradores de viagens.

Verifica-se que a variável polos geradores de viagens apresenta maior valor na zona central da cidade (centro histórico e área de expansão da cidade). A grande concentração de serviços nesta zona faz com que outros pequenos polos se apresentem menos relevantes.

As figuras 41, 42 e 43 apresentam, a título exemplificativo, os resultados obtidos para os polos geradores de viagens correspondentes aos equipamentos de comércio, para todos os modos de deslocação analisados: a pé e em bicicleta convencional e elétrica.

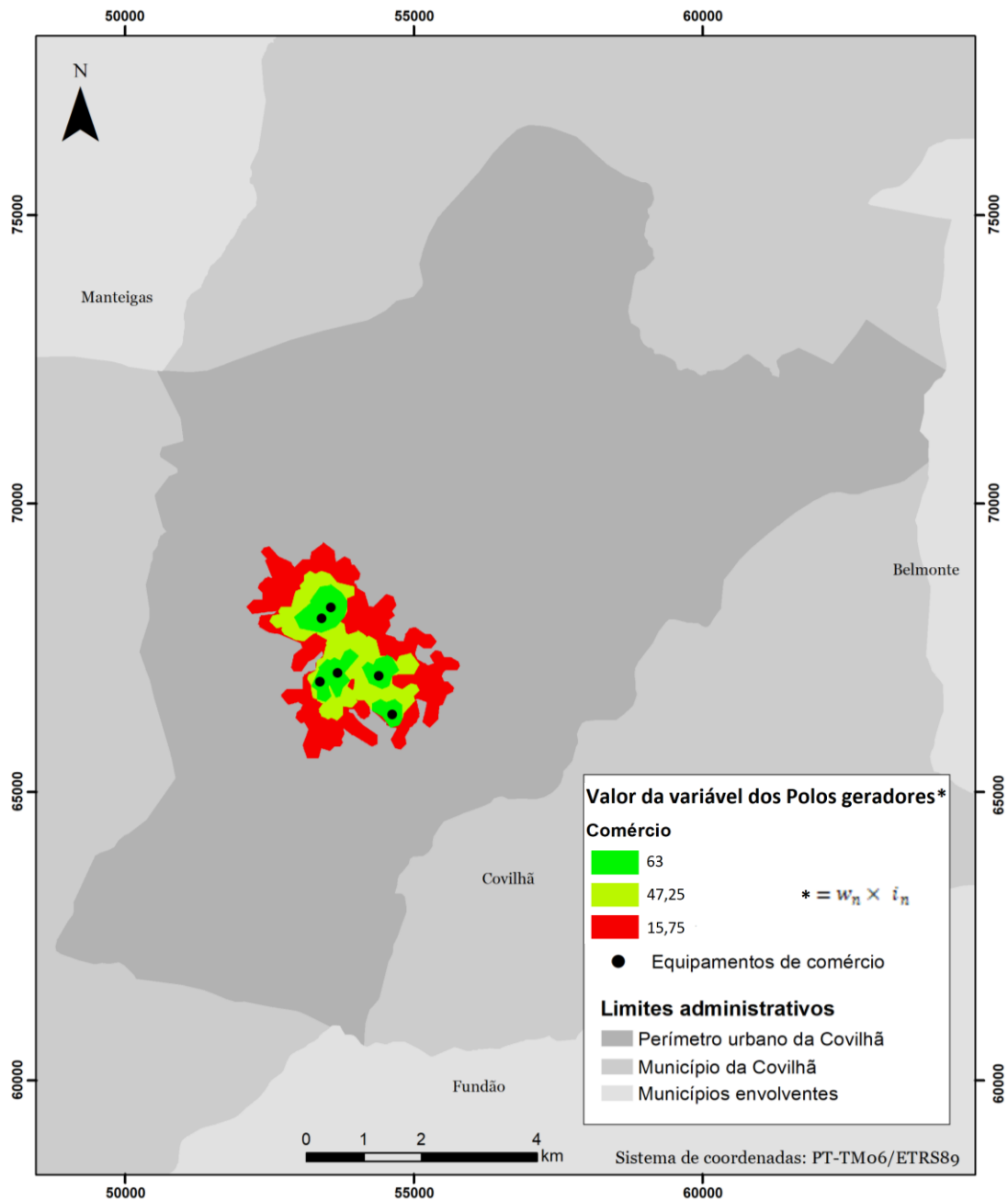


Figura 41 - Valor da variável polos geradores de viagens para os equipamentos de comércio considerando a deslocação pedonal

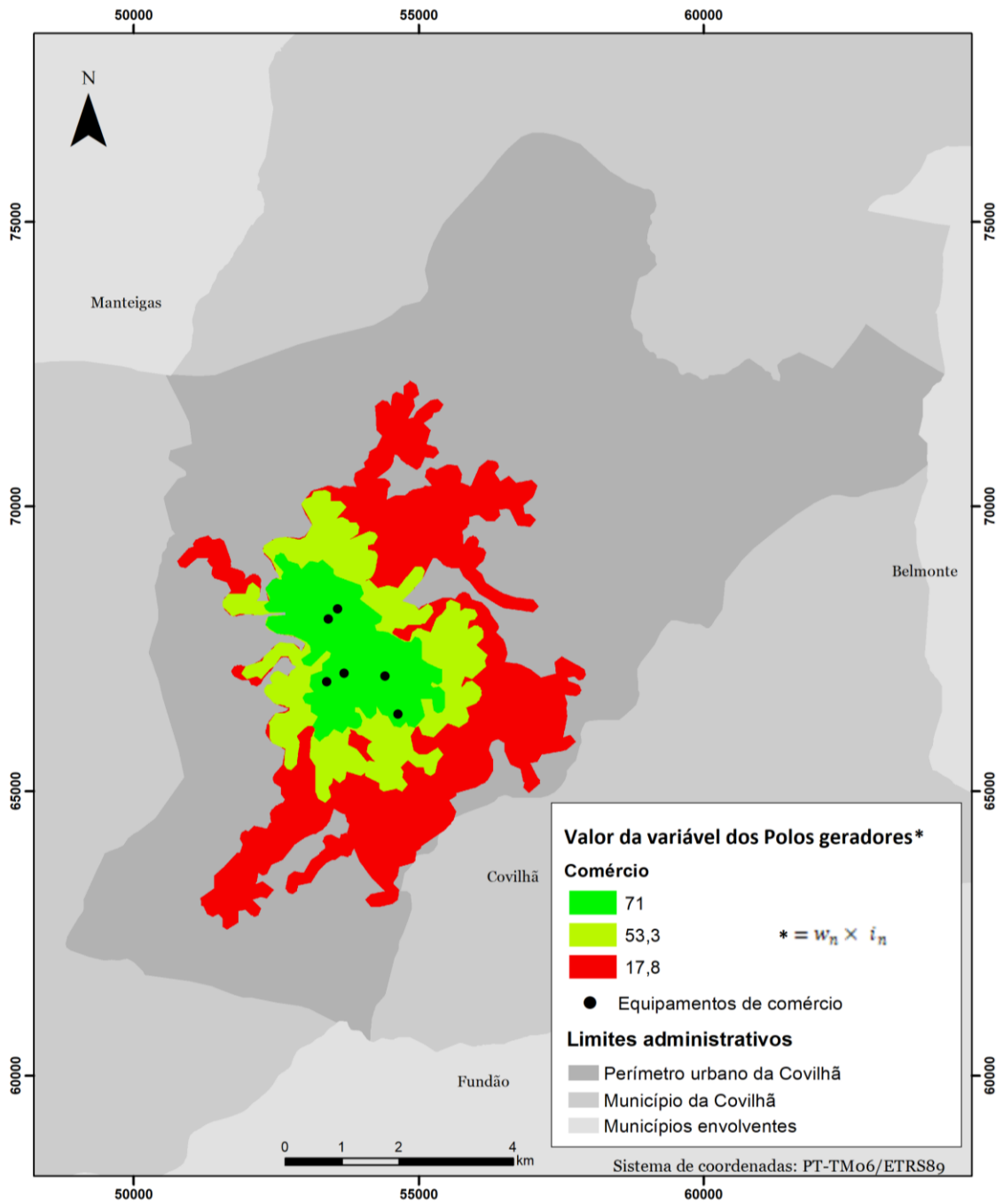


Figura 42 – Valor da variável polos geradores de viagens para os equipamentos de comércio considerando a deslocação em bicicleta convencional

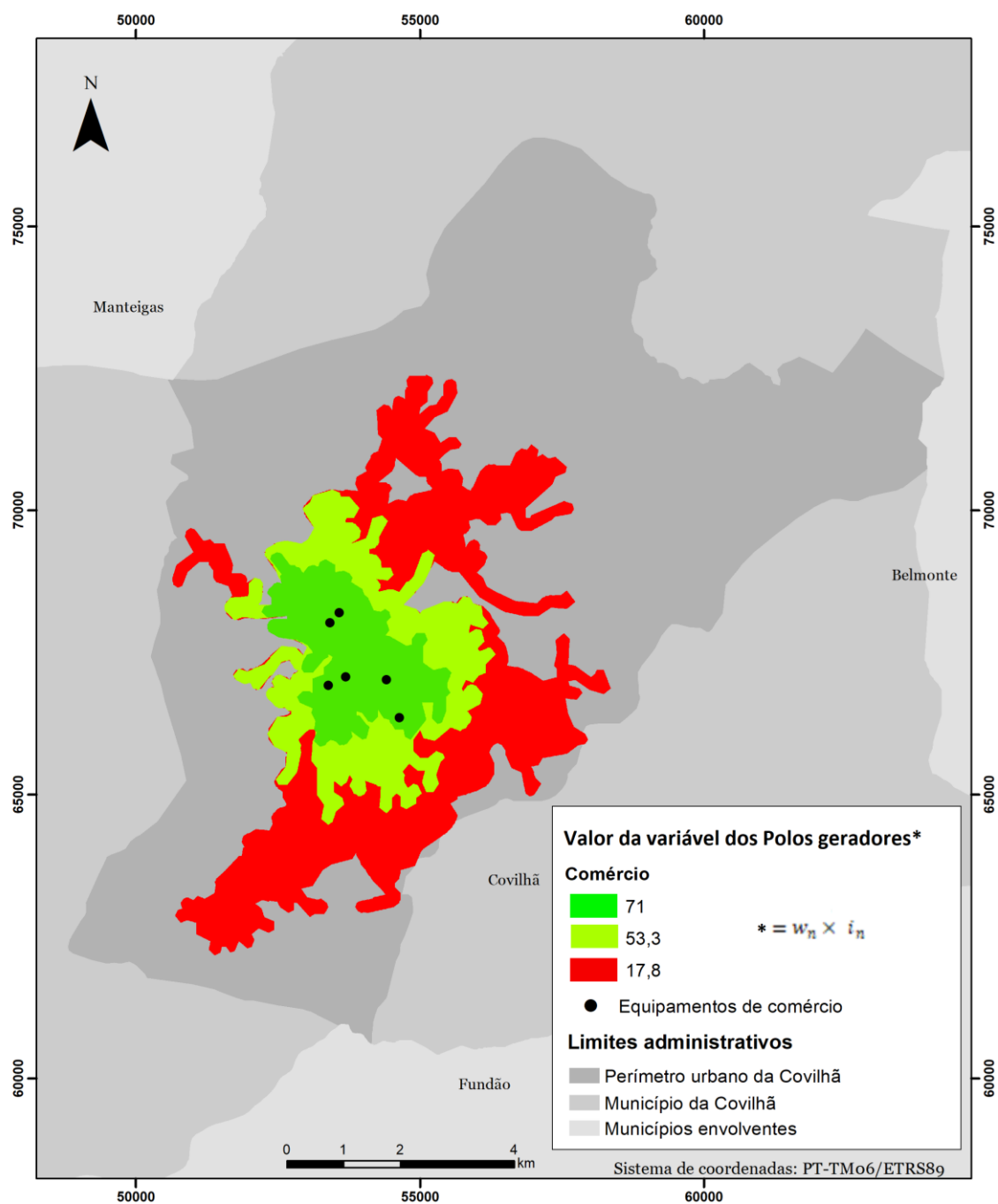


Figura 43 - Valor da variável polos geradores de viagens para os equipamentos de comércio considerando a deslocação em bicicleta elétrica

O tratamento efetuado para os equipamentos de comércio (ver figuras 41, 42 e 43) foi repetido para as restantes categorias de equipamentos (educação, saúde, transportes, lazer, desporto, cultura, serviços e turismo). Na fase seguinte os valores obtidos para todas as categorias são agregados dando origem a um valor representativo do conjunto dos equipamentos considerados e traduzido num só mapa para cada modo de transporte (pedonal, bicicleta convencional e bicicleta elétrica). As figuras 44, 45 e 46 mostram os valores não normalizados da variável polos

geradores de viagens para a deslocação pedonal, em bicicleta convencional e em bicicleta elétrica.

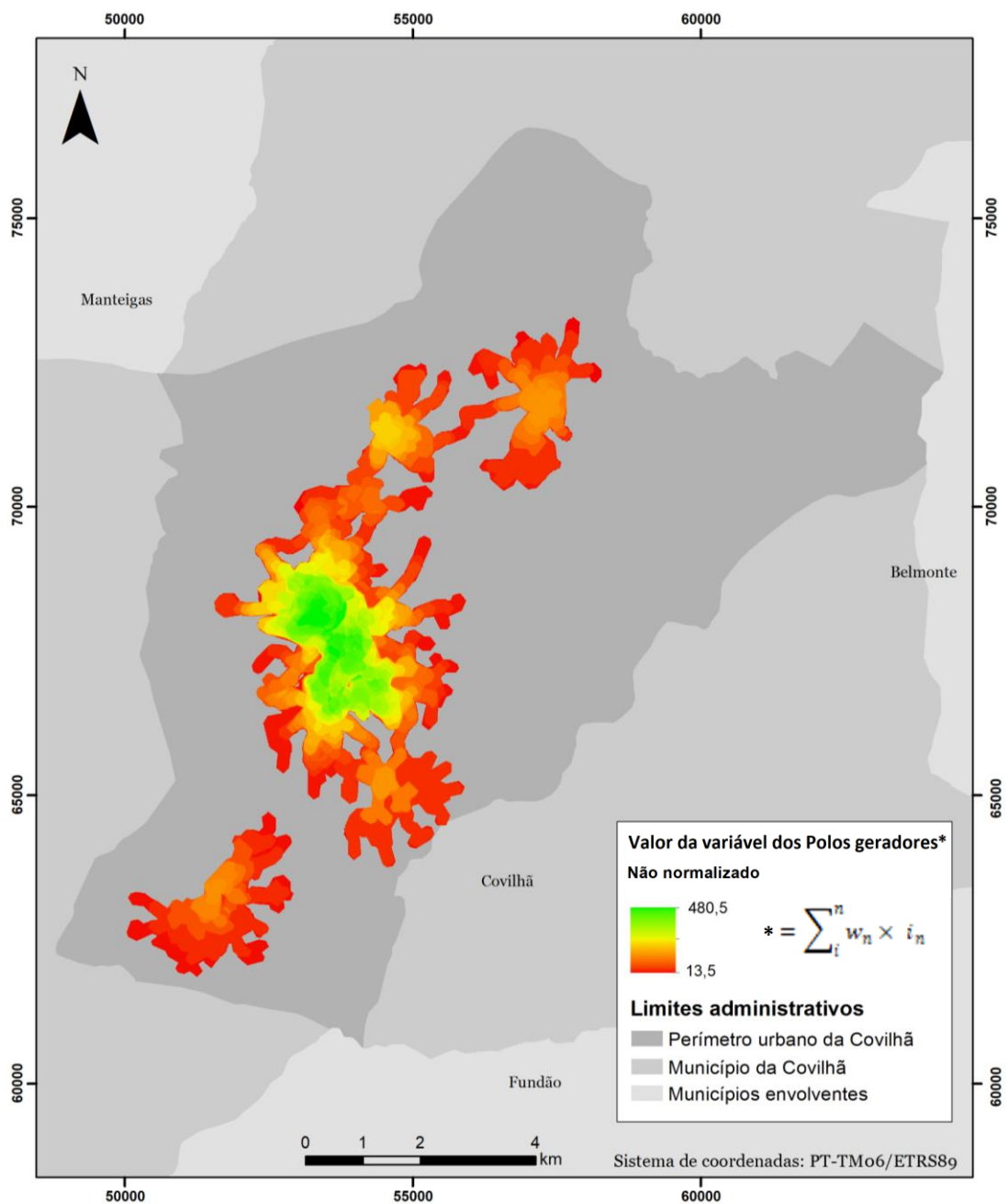


Figura 44 – Valor da variável polos geradores de viagens (valores não normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação pedonal

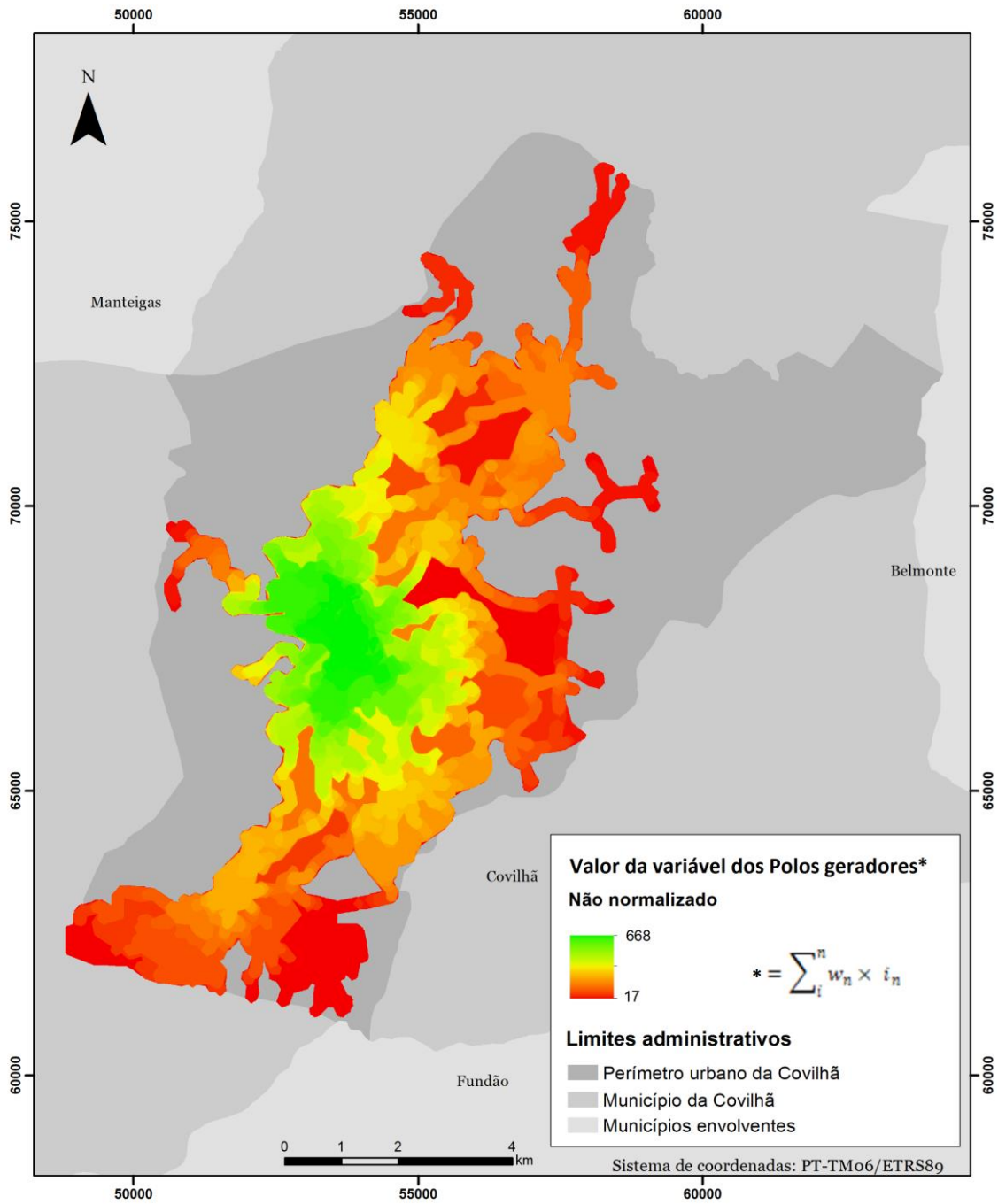


Figura 45 - Valor da variável polos geradores de viagens (valores não normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta convencional

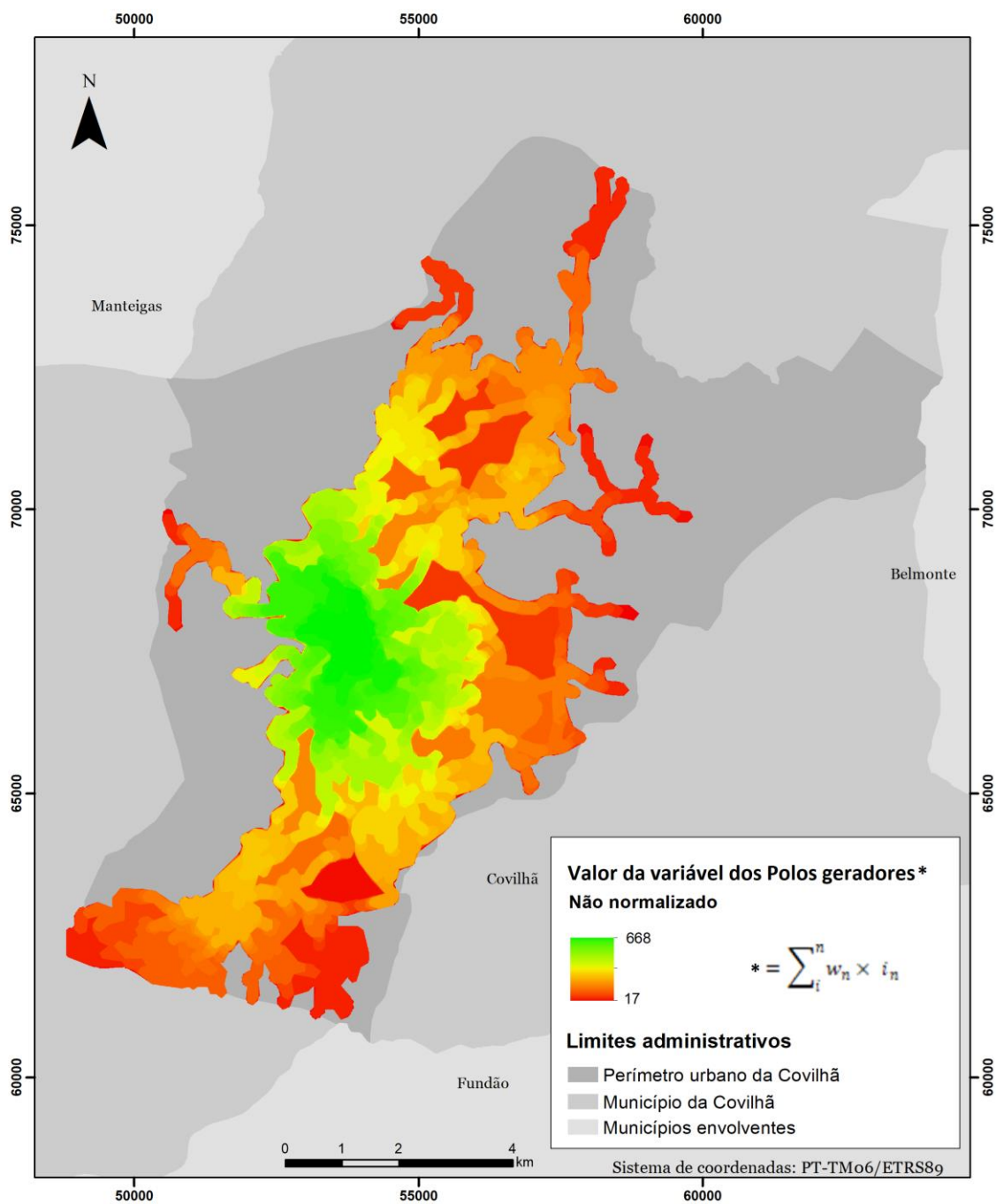


Figura 46 - Valor da variável polos geradores de viagens (valores não normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta elétrica

Os valores obtidos para cada modo de transporte (pedonal, bicicleta convencional e bicicleta elétrica) são depois normalizados para uma escala de 0 a 100. As figuras 47, 48 e 49 apresentam os mapas dos valores normalizados da variável polos geradores de viagens para a deslocação pedonal, em bicicleta convencional e em bicicleta elétrica.

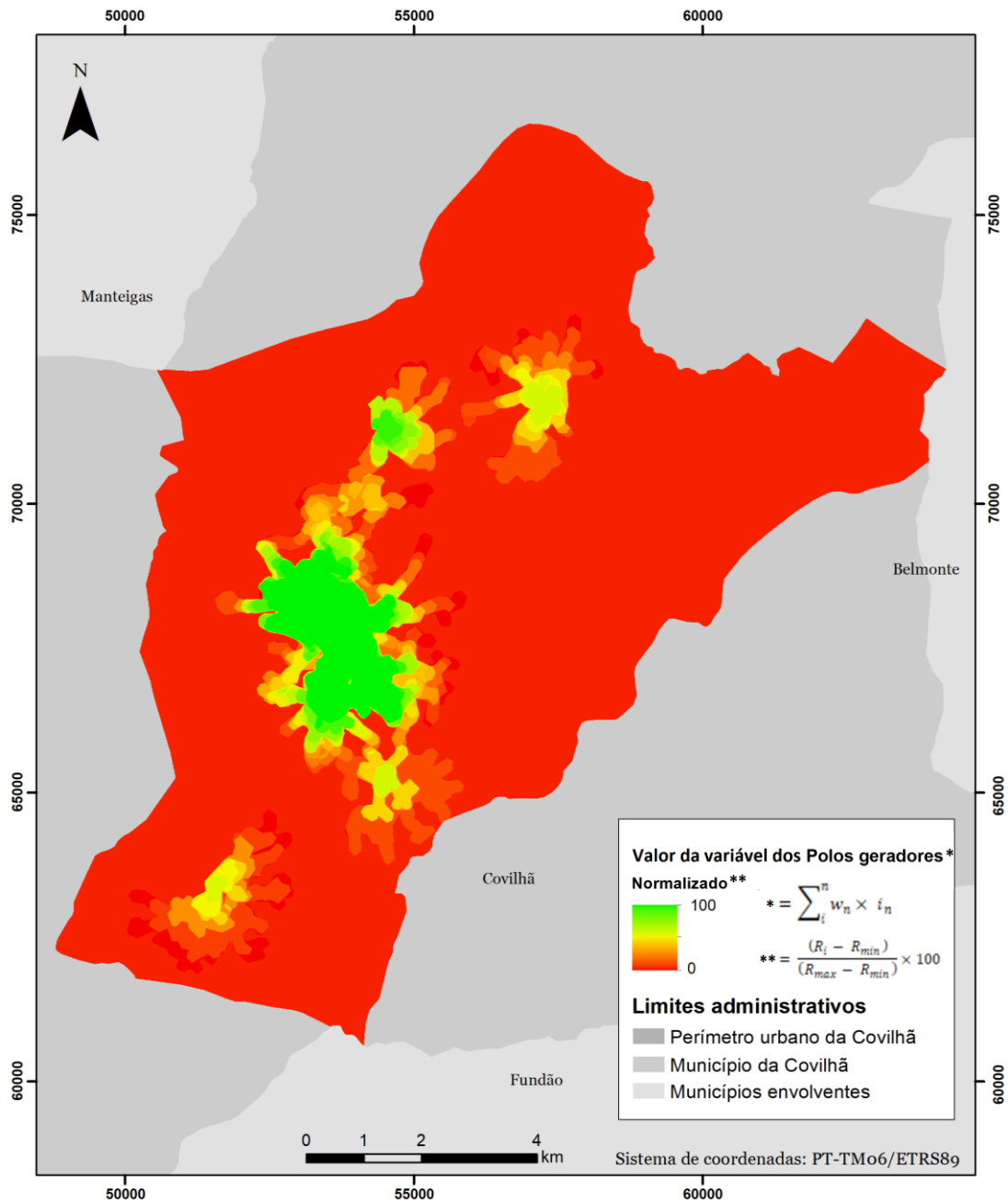


Figura 47 - Valor da variável polos geradores de viagens (valores normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação pedonal

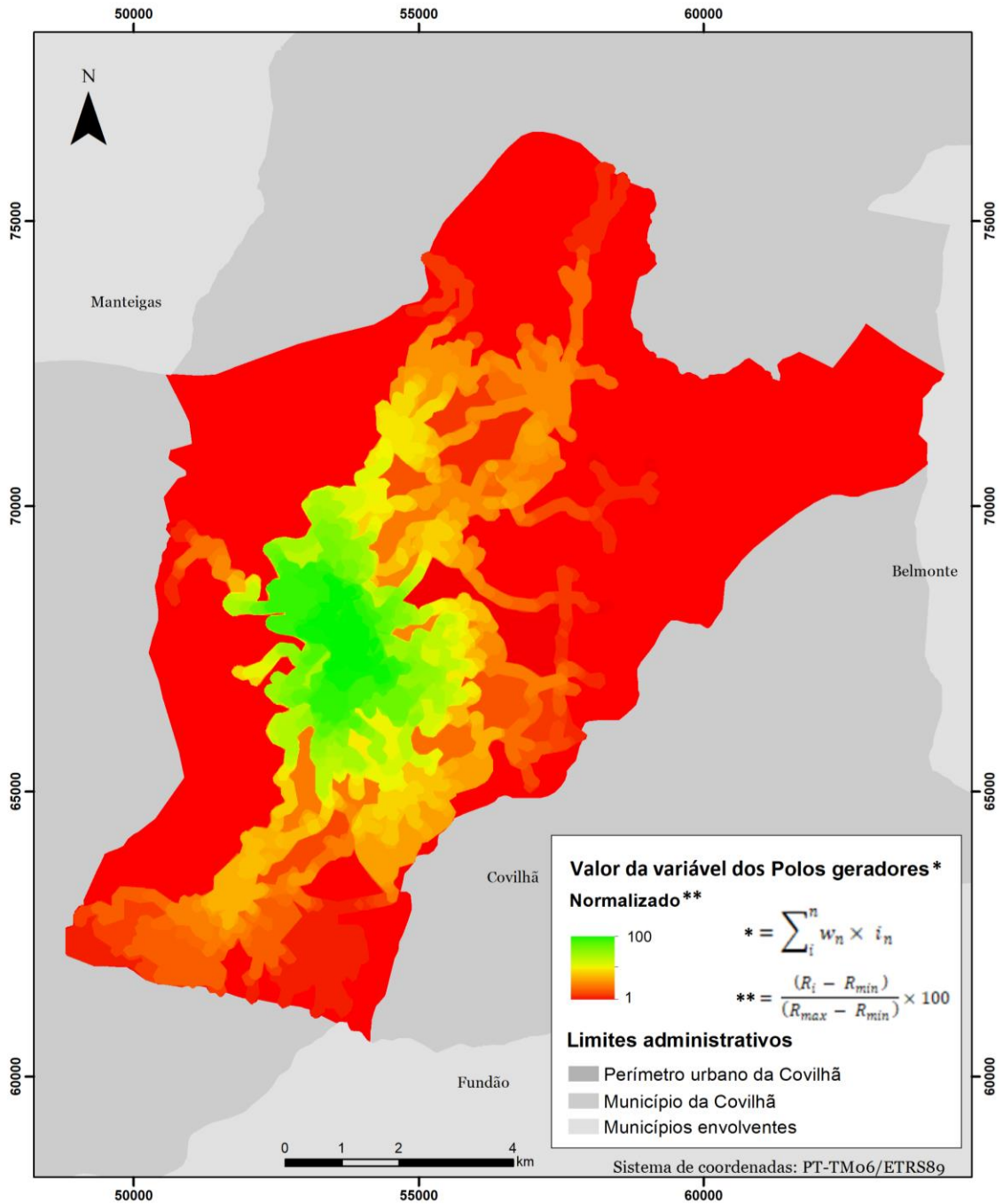


Figura 48 - Valor da variável polos geradores de viagens (valores normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta convencional

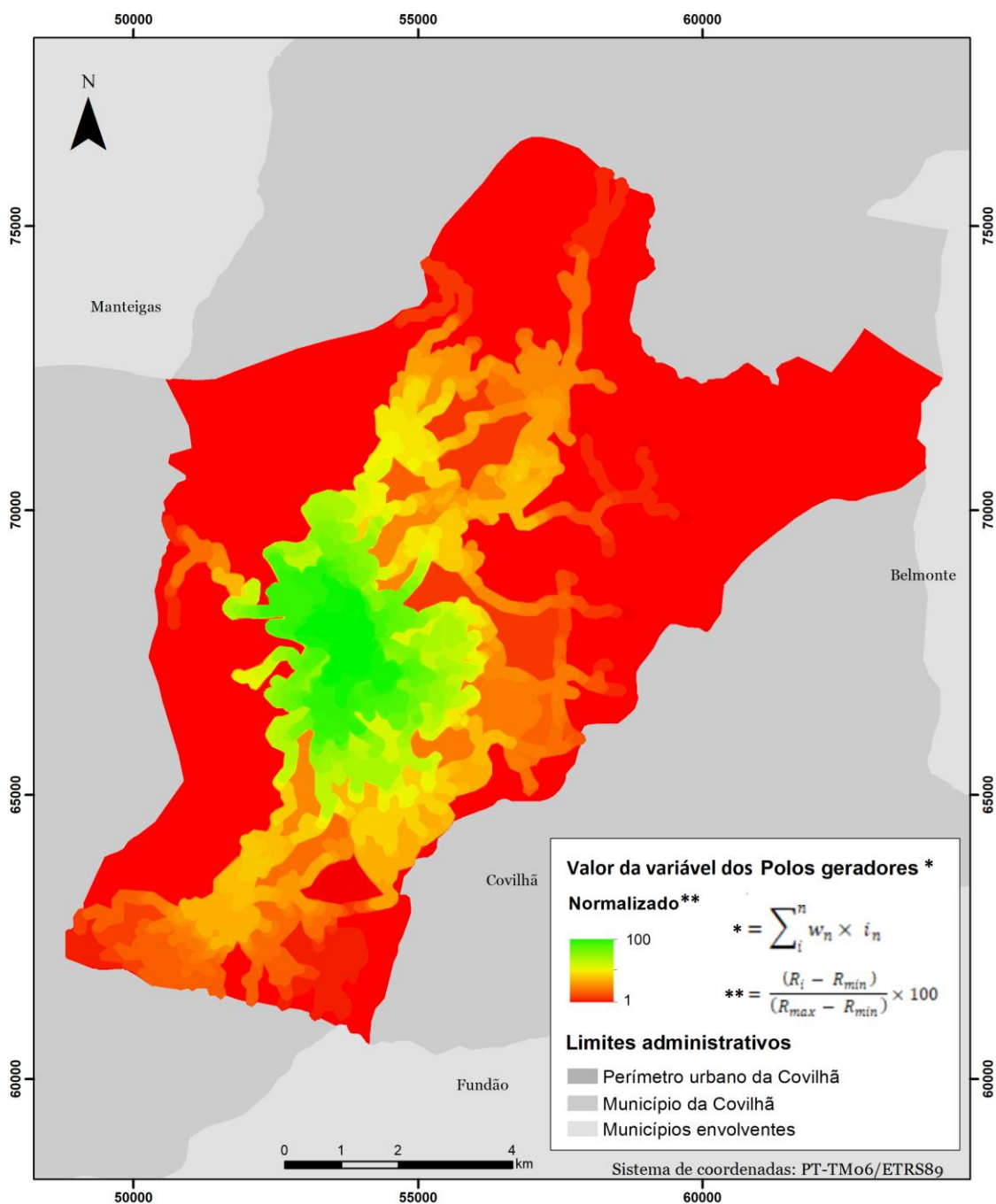


Figura 49 - Valor da variável polos geradores de viagens (valores normalizados) para os equipamentos considerando a deslocação em bicicleta elétrica

6.3.3 Densidade populacional

No que à densidade populacional diz respeito, foi utilizada informação vetorial e alfanumérica resultante dos censos de 2011, disponibilizada pelo INE no seu sítio da internet. A informação foi considerada ao nível da subseção estatística. A figura 50 apresenta a distribuição espacial da

densidade populacional, expressa em hab/ha. Para a análise multicritério, os valores são depois normalizados para uma escala de 0 a 100 (figura 51).

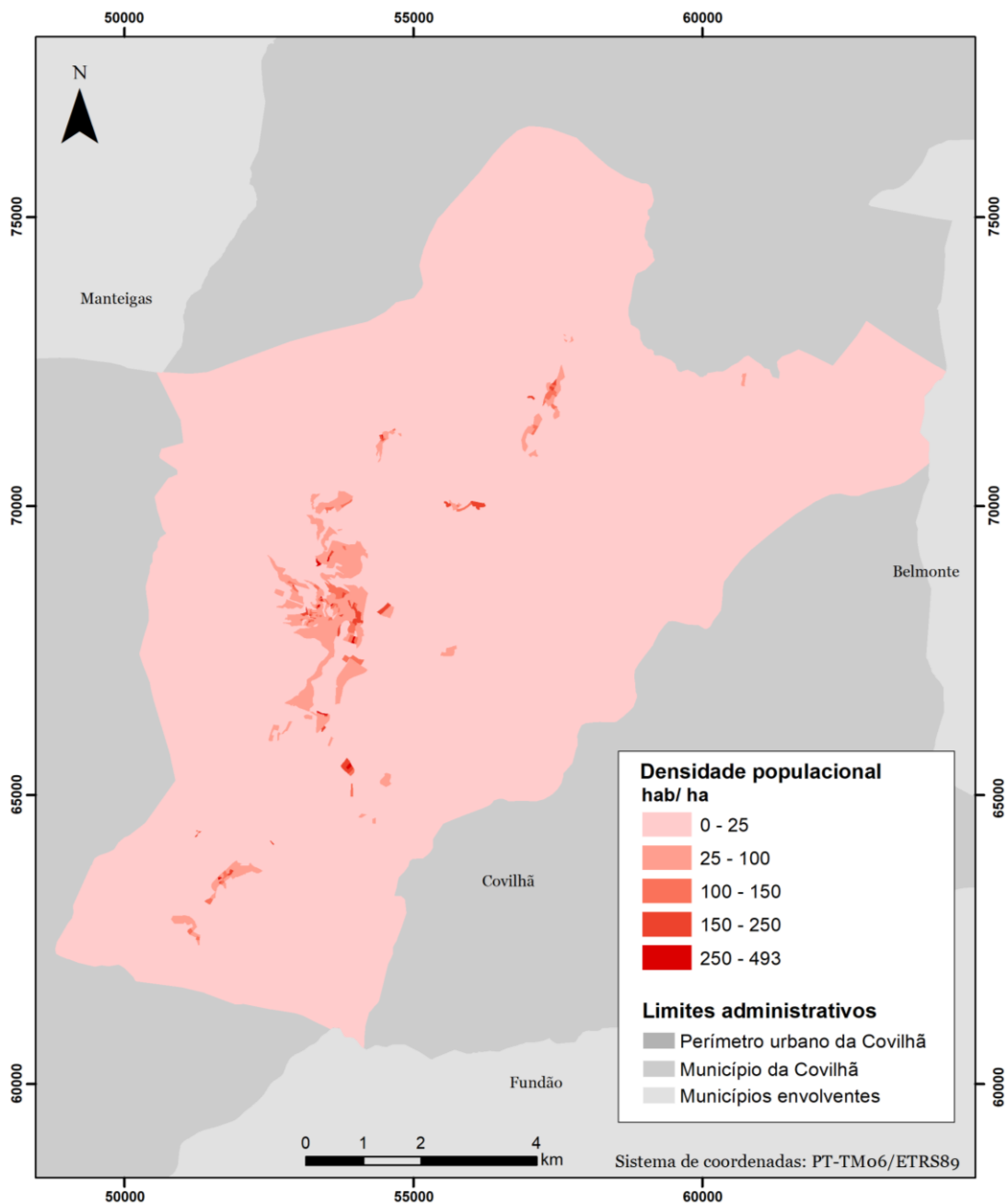


Figura 50 - Densidade populacional no perímetro urbano do município da Covilhã

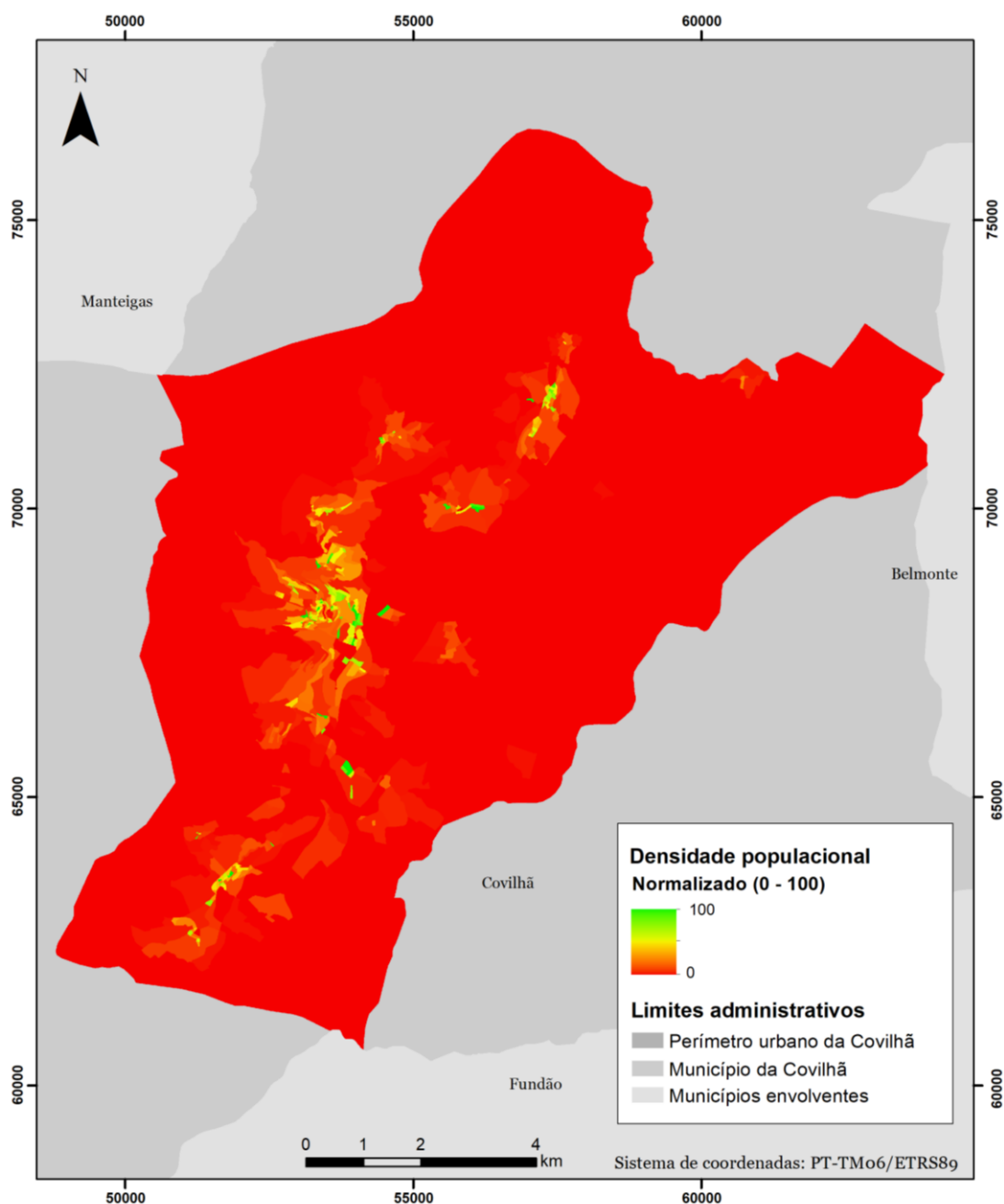


Figura 51 - Densidade populacional (valores normalizados) no perímetro urbano do município da Covilhã

6.4 Cálculo dos índices de *walkability* e *bikeability*

A obtenção dos valores das variáveis polos geradores de viagens e densidade populacional permitem calcular os índices de *walkability* e *bikeability*.

Tendo em conta a literatura analisada, assim como os inquéritos e entrevistas efetuadas, os polos geradores de viagens aparentam apresentar maior relevância no cálculo do potencial pedonal e de bicicleta em relação à densidade populacional (Passos, 2018; Nogueira, 2020).

Neste estudo foi considerada uma distribuição de 70%/ 30% para as variáveis polos geradores e densidade populacional, respetivamente.

A obtenção dos valores das variáveis polos geradores de viagens e densidade populacional permitem calcular os índices de *walkability* e *bikeability*.

O índice de *walkability* incorpora ainda a presença/ ausência de passeios nas vias da rede viária. Apesar de existirem vários estudos que reiteram a relevância da presença de passeios no potencial pedonal, o trabalho de Sousa et al. (2019) é o único que atribui um peso à presença de passeios no cálculo do índice da qualidade do ambiente pedonal (PEQI – *Pedestrian Environmental Quality Index*), apesar de existirem vários estudos que reiteram a relevância da presença de passeios no potencial pedonal. Contudo, o intervalo de pesos sugerido (entre 39% e 42%) aparenta ser excessivo para a análise do potencial pedonal, pelo que este fator foi considerado como uma restrição, traduzida numa penalização de 25% no valor do potencial dos troços sem passeio.

As figuras 52, 53 e 54 apresentam os mapas espaciais obtidos para os índices de *walkability* e *bikeability*, antes da sua transferência para a rede viária.

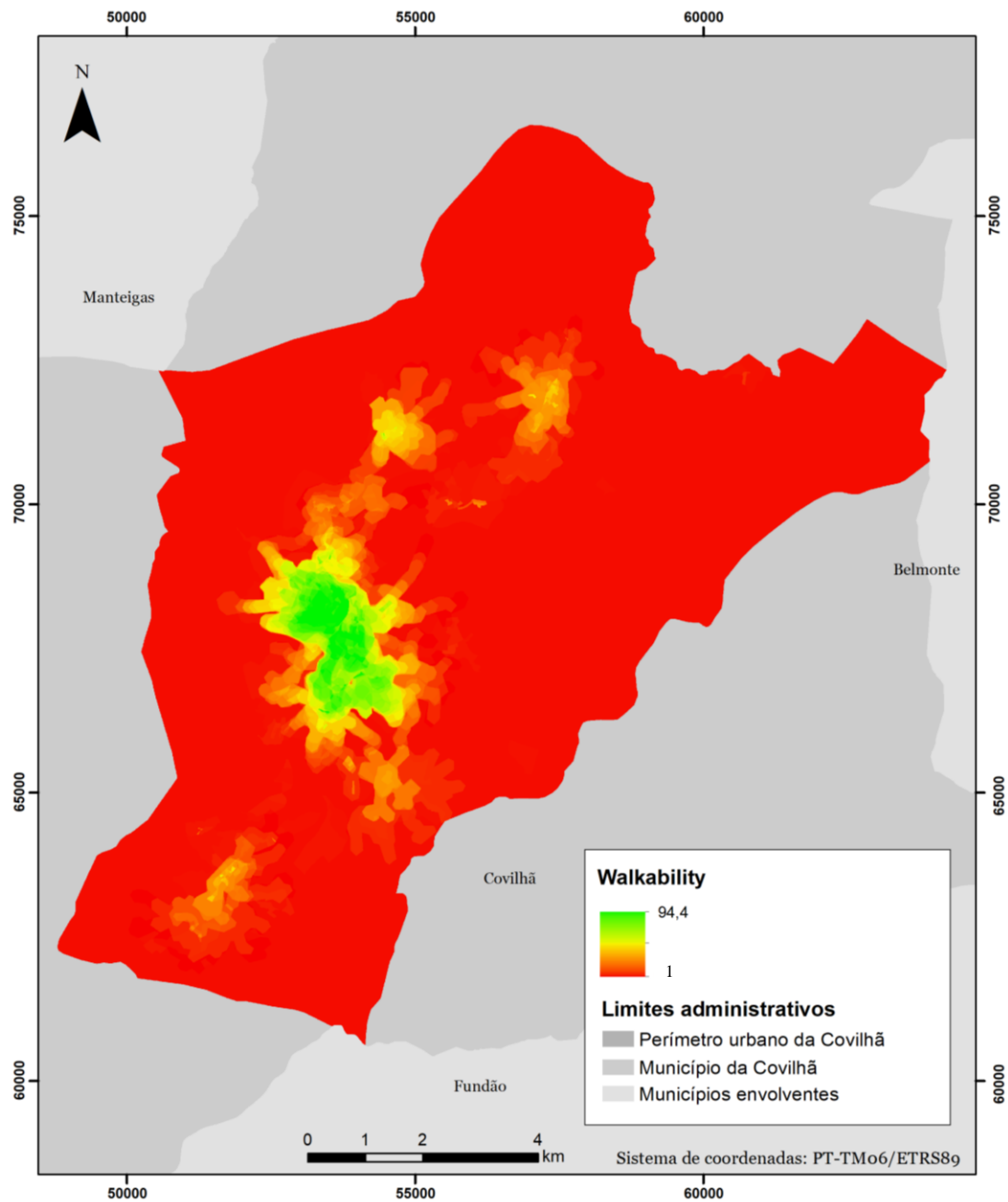


Figura 52 – Agregação das variáveis da densidade populacional e polos geradores de viagem para a deslocação pedonal

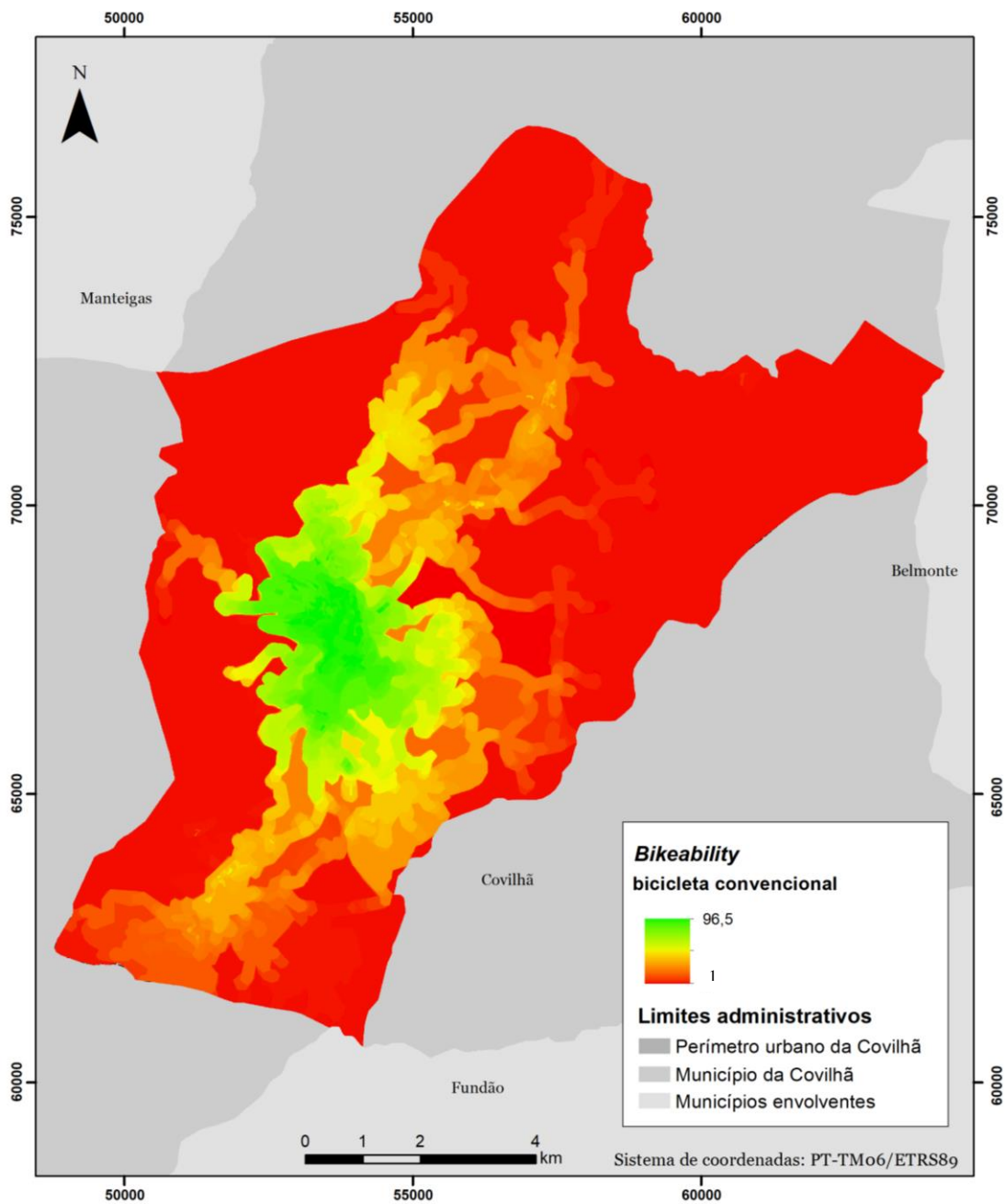


Figura 53 - Agregação das variáveis da densidade populacional e polos geradores de viagem para a deslocação em bicicleta convencional

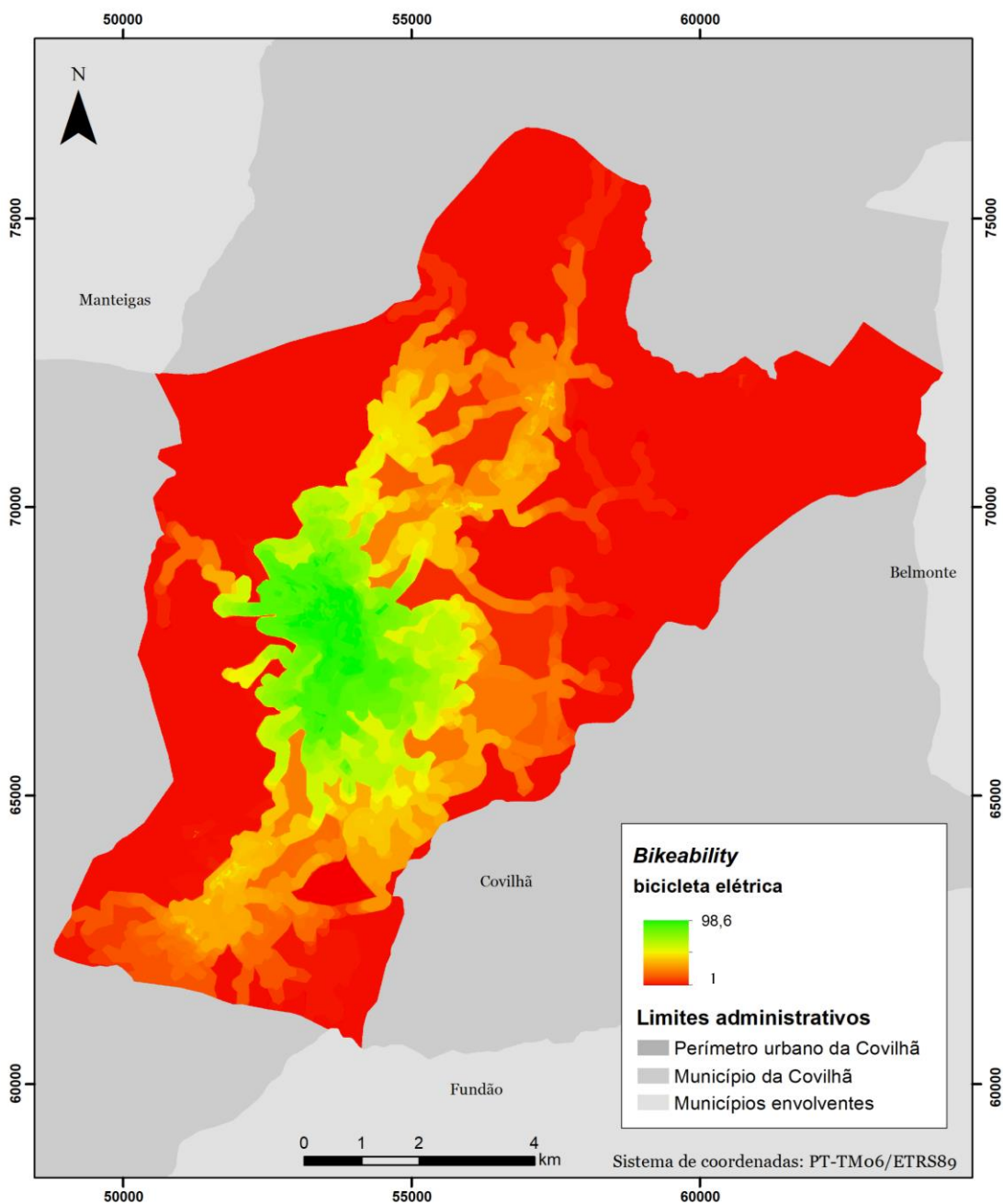


Figura 54 - Agregação das variáveis da densidade populacional e polos geradores de viagem para a deslocação em bicicleta elétrica

De modo a leitura dos resultados, os valores de potencial de mobilidade foram classificados em cinco categorias: muito elevado, elevado, razoável, reduzido e muito elevado. A figura 55 apresenta a distribuição das pontuações para o potencial de mobilidade pedonal (*walkability*).

A figura 55 apresenta o potencial de mobilidade pedonal da rede viária do perímetro urbano da Covilhã. Cerca de 74,64% e 9,10% da rede apresenta condições pobres para esta prática, classificados como “Muito reduzido” e “Reduzido”, respetivamente. Cerca de 11,80% apresenta condições razoáveis, e 4,44% e 0,02% possuem características elevadas e muito elevadas, respetivamente, para andar a pé.

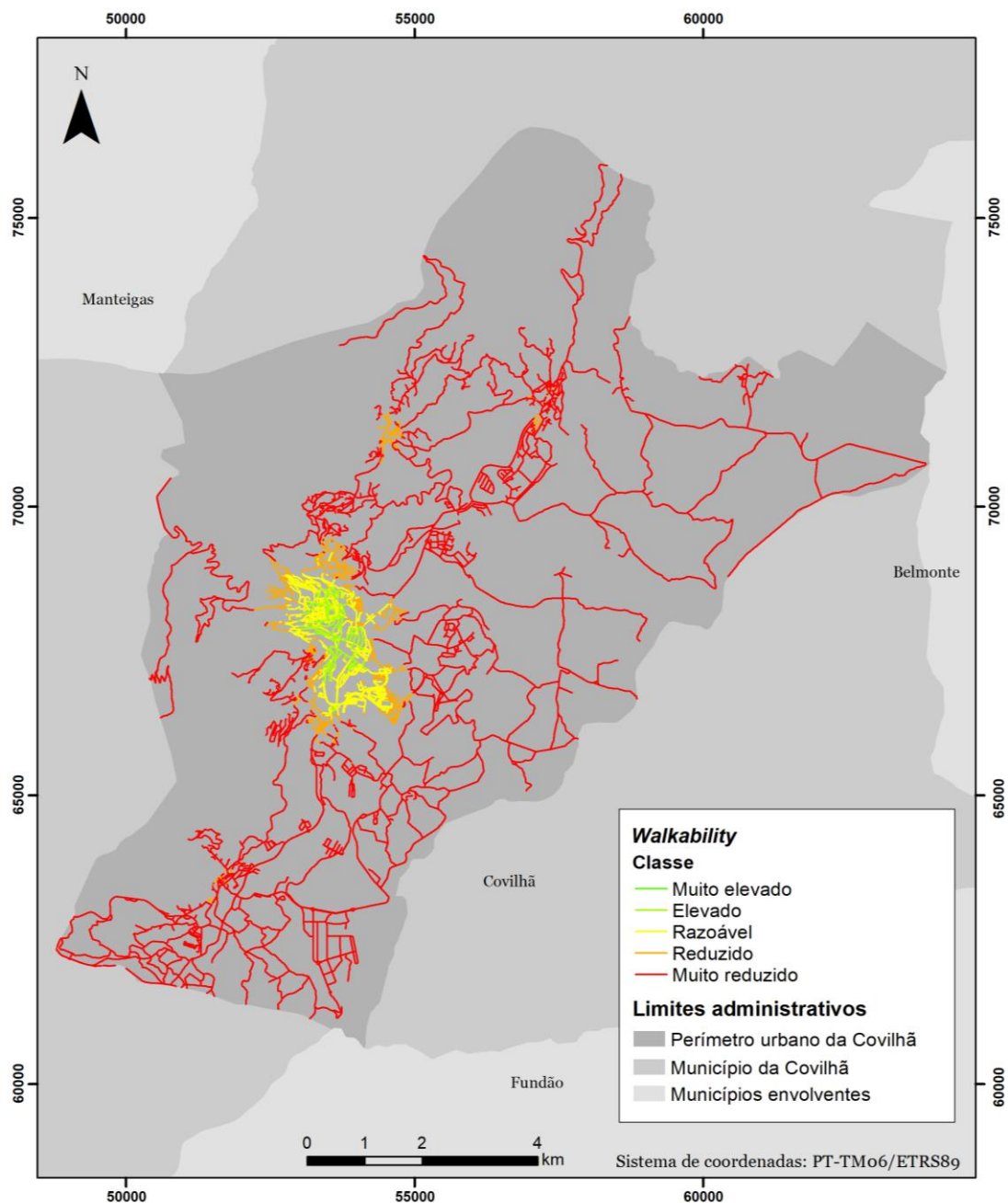


Figura 55 - Potencial de mobilidade pedonal (*walkability*)

No caso dos resultados relativos ao potencial de mobilidade em bicicleta, para além das cinco classes referidas, alberga também a classe “Sem Potencial”.

Relativamente ao potencial de mobilidade com bicicleta convencional, cerca de 15,5% da rede viária não apresenta características que favoreçam o uso da bicicleta convencional em deslocações pendulares. Cerca de 38,5% da rede é classificada como apresentando condições muito reduzidas e 16,6% com condições reduzidas. Já 13,1% da rede é classificada como razoável, 16,1% com condições elevadas e 0,2% com muito elevadas. A figura 56 apresenta o

mapa de potencial de mobilidade com bicicleta convencional (*bikeability*) da rede viária do perímetro urbano da Covilhã.

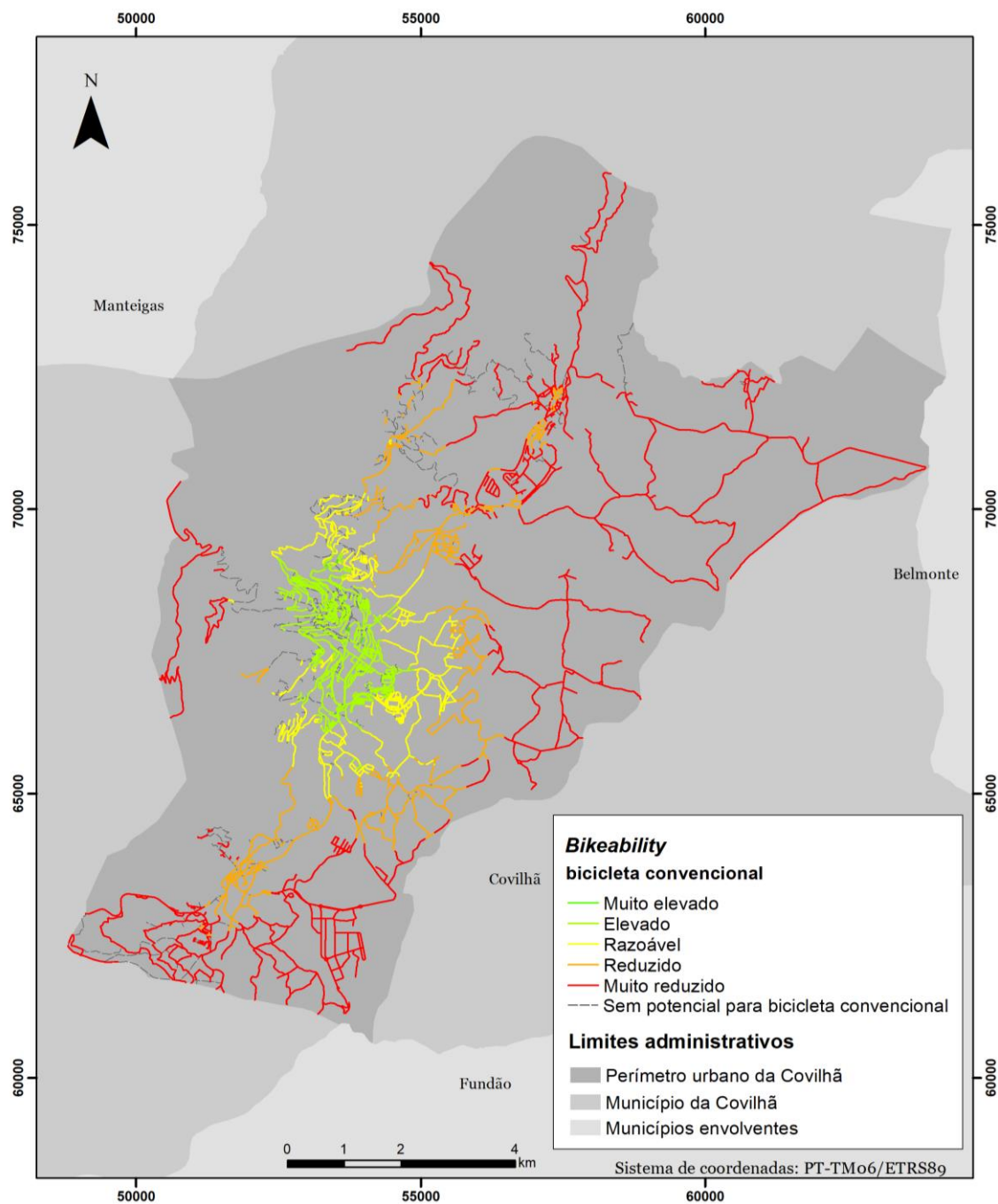


Figura 56 - Potencial de mobilidade em bicicleta convencional (*bikeability*)

Quanto ao potencial de mobilidade com bicicleta elétrica, cerca de 1,1% da rede não apresenta condições para a circulação, e 36% e 24,1% possuem características muito reduzidas e reduzidas, respetivamente. A classe “Razoável” alberga 15,3% da rede viária do perímetro urbano do município da Covilhã. Cerca de 23,5% apresenta qualidades elevadas ou muito elevadas. A

figura 57 apresenta o mapa de potencial de mobilidade com bicicleta elétrica (*bikeability*) da rede viária do perímetro urbano da Covilhã.

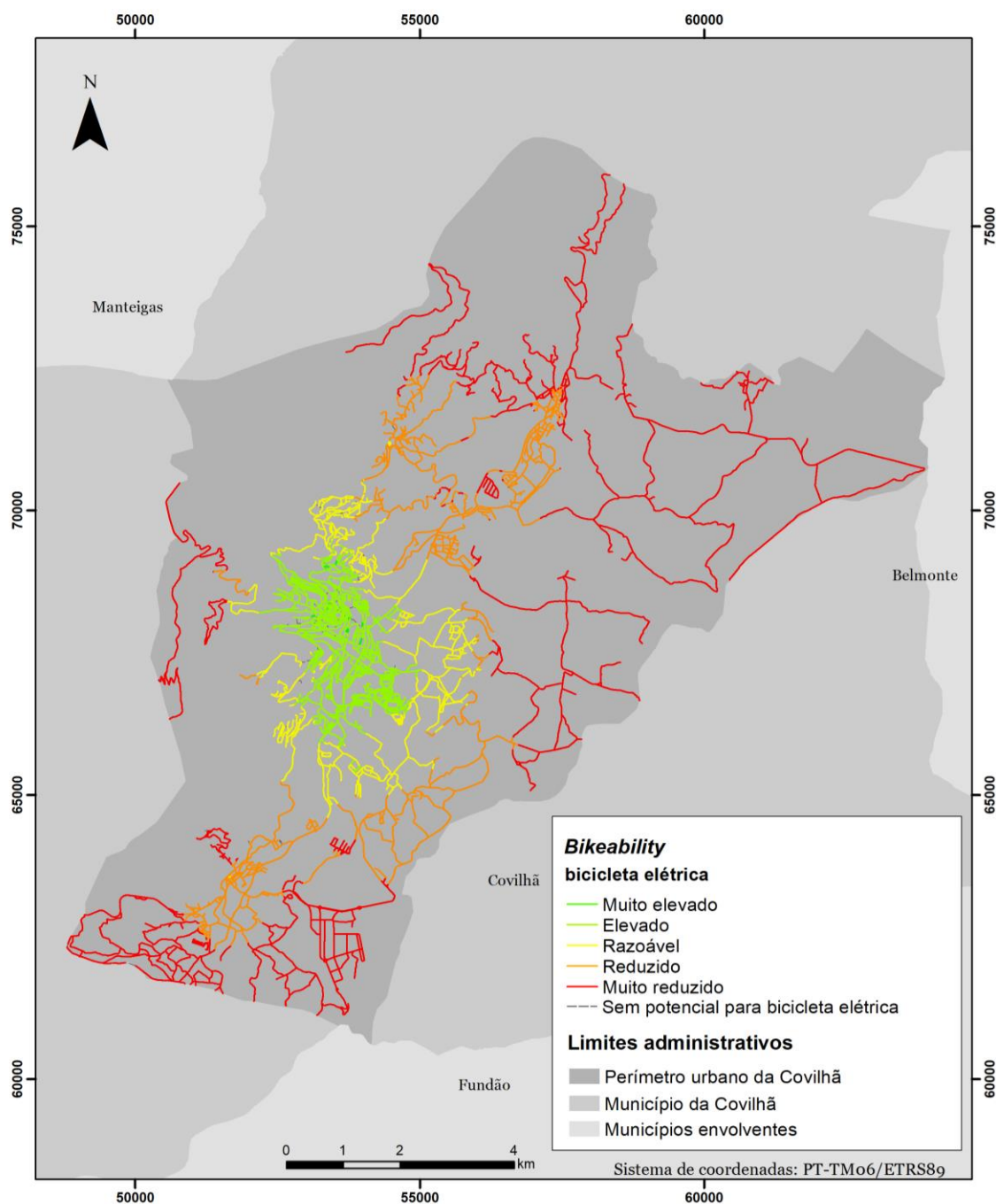


Figura 57 - Potencial de mobilidade em bicicleta elétrica (*bikeability*)

É notável uma diferença considerável entre o potencial pedonal e o potencial para a circulação com bicicleta. A rede viária do perímetro urbano do concelho da Covilhã apresenta algumas condições que permitem sustentar a promoção do uso da bicicleta, em especial da bicicleta elétrica. Contudo, apenas a zona mais central da cidade, com exceção do centro histórico, mas

incluindo a zona de expansão da cidade, convida à mobilidade suave, sem evidenciar uma ligação com potencial elevado com outras pequenas aglomerações populacionais. Este resultado reflete a importância da localização e peso dos polos geradores de viagens na análise.

O gráfico da figura 58 apresenta a distribuição da classificação do potencial de mobilidade suave da rede viária para os três modos de transporte analisados. É perceptível que o potencial de mobilidade em bicicleta é consideravelmente superior ao potencial de mobilidade pedonal, com maior expressão na classe “Elevado”. O uso da bicicleta elétrica, em detrimento da bicicleta convencional, traz algum acréscimo ao potencial de mobilidade. Este acréscimo acontece devido às características topográficas da área de estudo. Em cidades com pouco declive, esta diferença será diminuta.

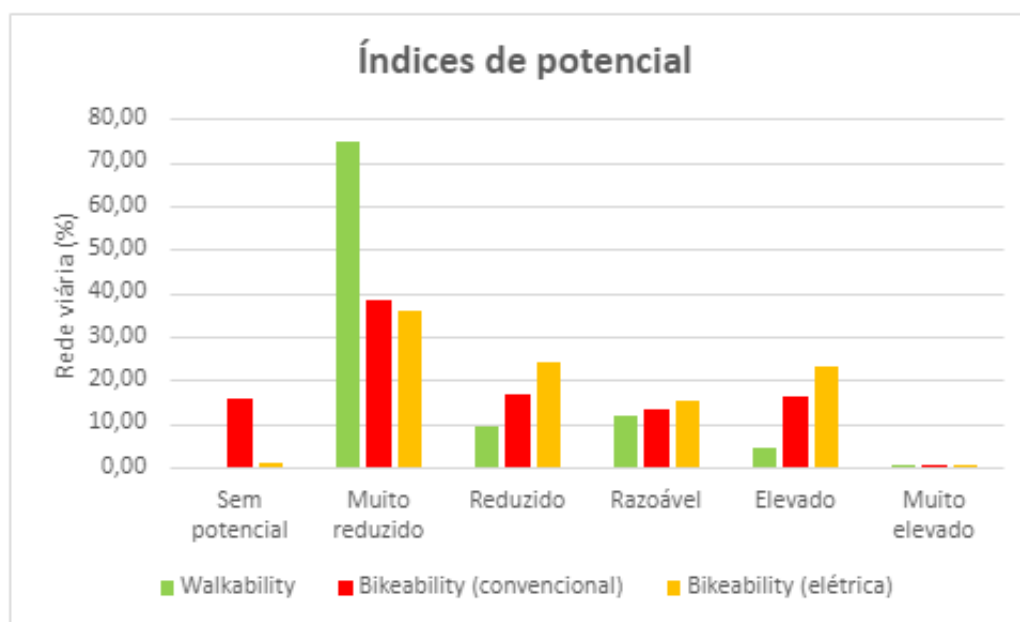


Figura 58 - Distribuição da classificação do potencial de mobilidade pedonal e em bicicleta convencional e elétrica

6.5 Cálculo do índice de potencial de mobilidade suave

O cálculo final do IPMS, com ponderação dos índices de *walkability* e *bikeability* para a obtenção de um índice global da mobilidade suave, recorreu à realização de um inquérito para sustentar a contribuição dos modos pedonal e ciclável para o valor final do índice. O inquérito foi dirigido a especialistas (académicos) e representantes da Câmara Municipal da Covilhã envolvidos na gestão das infraestruturas viárias, pedonal e ciclável do concelho. As questões e respostas relativas aos inquéritos podem ser consultados no anexo 20.

As respostas obtidas foram diversificadas, pelo que a definição dos pesos dos índices de *walkability* e de *bikeability* no cálculo do IPMS carece de estudos mais detalhados. No entanto, parece existir uma ideia generalizada de que os pesos dos índices de *walkability* e de *bikeability* no cálculo do IPMS deve ser equilibrado, sem domínio de um índice em relação ao outro. Em cidades de encosta/ montanha, as respostas ao inquérito não apresentam nenhuma tendência discernível. Tendo estes resultados em conta, pesos equitativos ($IPMS = walkability * 0,50 + bikeability * 0,50$) e com ligeira tendência ($IPMS = walkability * 0,60 + bikeability * 0,40$ e $IPMS = walkability * 0,40 + bikeability * 0,60$) foram considerados na análise do caso de estudo. De referir ainda que as ferramentas desenvolvidas permitem personalizar os valores dos pesos a adotar em determinada análise.

A tabela 27 reflete as decisões relativas aos pesos atribuídos às variáveis utilizadas na análise do IPMS. Os resultados considerando as diferentes combinações podem ser consultados nos anexos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Tabela 27 – Pesos atribuídos às variáveis consideradas

Variável	Peso	Sustentação	Observações
Rede viária: presença de passeios	Penalização de 25% para a sua ausência	Acerto aos valores de Sousa et al. (2019)	Componente do índice de <i>walkability</i>
Polos geradores de viagens	70%	Passos (2018) e Nogueira (2020)	Em relação à densidade populacional
Densidade populacional	30%	Passos (2018) e Nogueira (2020)	Em relação aos polos geradores de viagens
<i>Walkability</i>	40%	Inquérito	Em relação ao índice de <i>bikeability</i>
	50%		
	60%		
<i>Bikeability</i>	40%	Inquérito	Em relação ao índice de <i>walkability</i>
	50%		
	60%		

Os resultados do IPMS considerando as combinações 50/50, 60/40 e 40/60 dos índices de *walkability* e *bikeability* estão expostos na tabela 28.

O índice de potencial de mobilidade suave (IPMS) resultante da combinação dos índices de *walkability* e de *bikeability*, considerando uma distribuição 50/50 dos índices, classifica a maior parte dos troços (51,4%) com um potencial muito reduzido para a mobilidade suave. Cerca de 14,5% apresenta reduzida aptidão para a mobilidade suave, enquanto 11,7% possui

condições razoáveis. Aproximadamente 6,9% da rede viária é classificada com potencial elevado e muito elevado para viagens pendulares em modos suaves.

Tabela 28 - Resultados do IPMS

Walkability e bikeability (bicicleta convencional)			
Classe	60% e 40%	50% e 50%	40% e 60%
	% da rede	% da rede	% da rede
Muito elevado	0,04	0,04	0,04
Elevado	5,45	6,85	7,99
Razoável	11,44	11,69	12,18
Reduzido	12,21	14,45	15,05
Muito reduzido	55,33	51,43	49,20
Sem potencial para a bicicleta convencional	15,54	15,54	15,54
Walkability e bikeability (bicicleta elétrica)			
Classe	60% e 40%	50% e 50%	40% e 60%
	% da rede	% da rede	% da rede
Muito elevado	0,05	0,05	0,04
Elevado	7,32	9,23	11,06
Razoável	13,72	14,13	14,45
Reduzido	17,19	20,50	20,57
Muito reduzido	60,62	54,99	52,77
Sem potencial para a bicicleta elétrica	1,11	1,11	1,11

Analisando os resultados para as várias combinações de peso das componentes *walkability* e *bikeability*, é notório que o aumento do peso do índice de *bikeability* tende a aumentar o potencial de mobilidade suave. Essa tendência nos resultados era esperada, tendo em conta que as áreas de serviço dos equipamentos para a deslocação em bicicleta são consideravelmente superiores às da deslocação pedonal. As classes “Muito reduzido” e “Elevado” são as que mais se alteram com o ajustamento dos pesos dos índices.

A figura 59 apresenta a classificação do potencial de mobilidade suave com as várias combinações de peso do potencial de mobilidade pedonal e em bicicleta convencional.

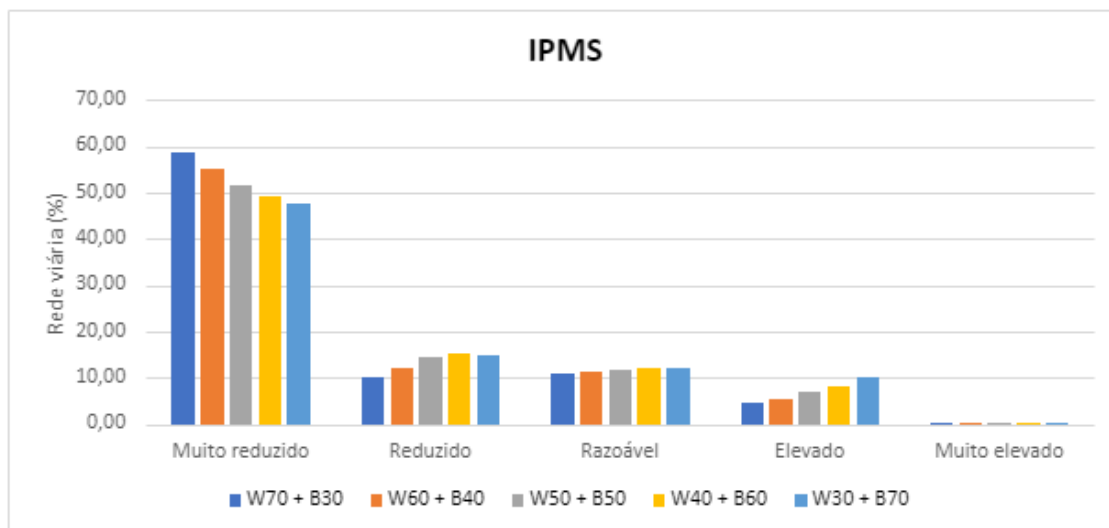


Figura 59 - Resultados do IPMS para a combinação *walkability* + *bikeability* (convencional)

A figura 60 apresenta a distribuição do potencial de mobilidade suave com as várias combinações de peso do potencial de mobilidade pedonal e em bicicleta elétrica.

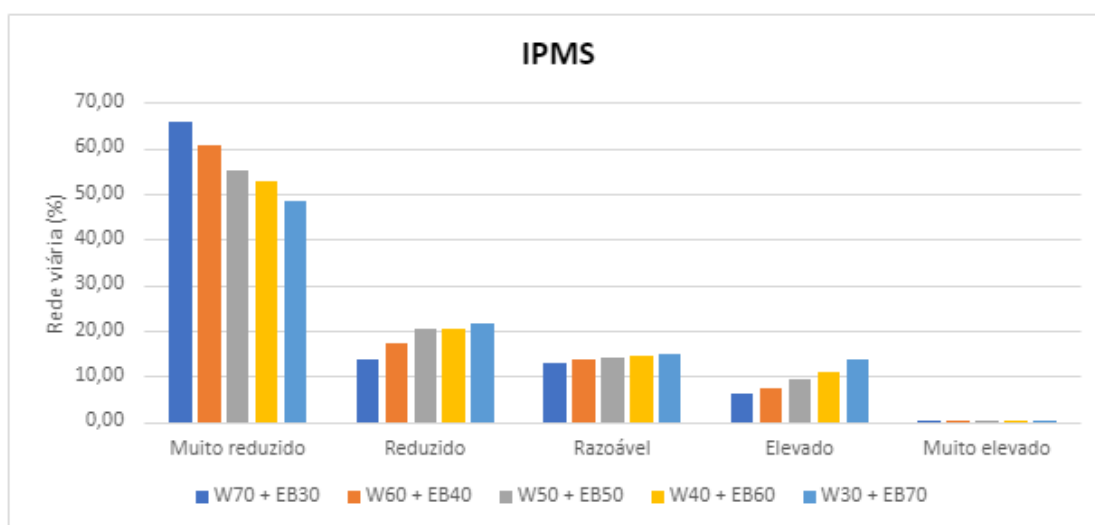


Figura 60 - Resultados do IPMS para a combinação *walkability* + *bikeability* (elétrica)

As figuras 61 a 62 apresentam os mapas do IPMS da rede viária do perímetro urbano da Covilhã, considerando igual peso para o índice de *walkability* e *bikeability*, em bicicleta convencional e elétrica, respetivamente. Os mapas resultantes das restantes combinações, relatadas nos anexos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

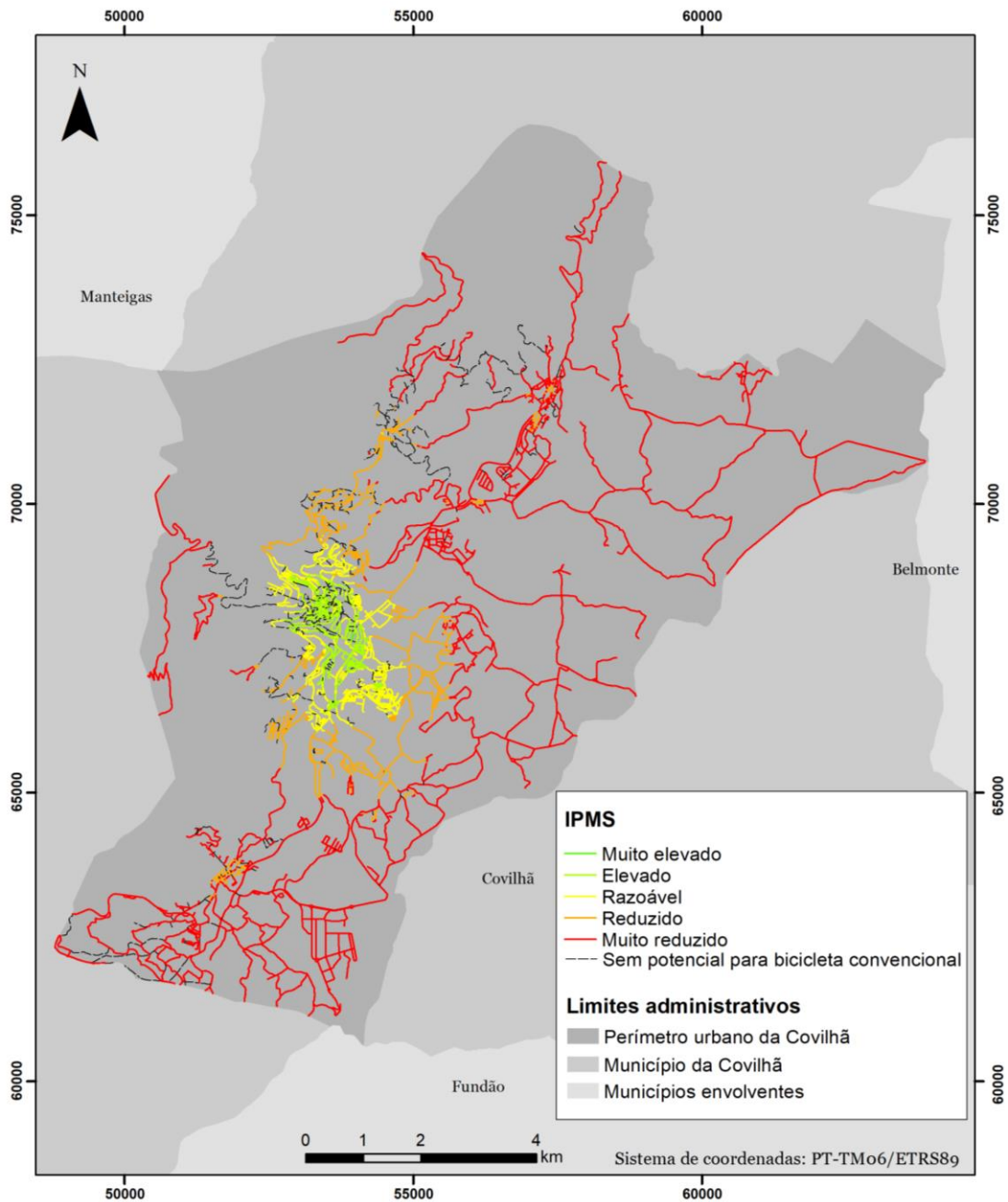


Figura 61 - Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação 50% *walkability* + 50% *bikeability* convencional

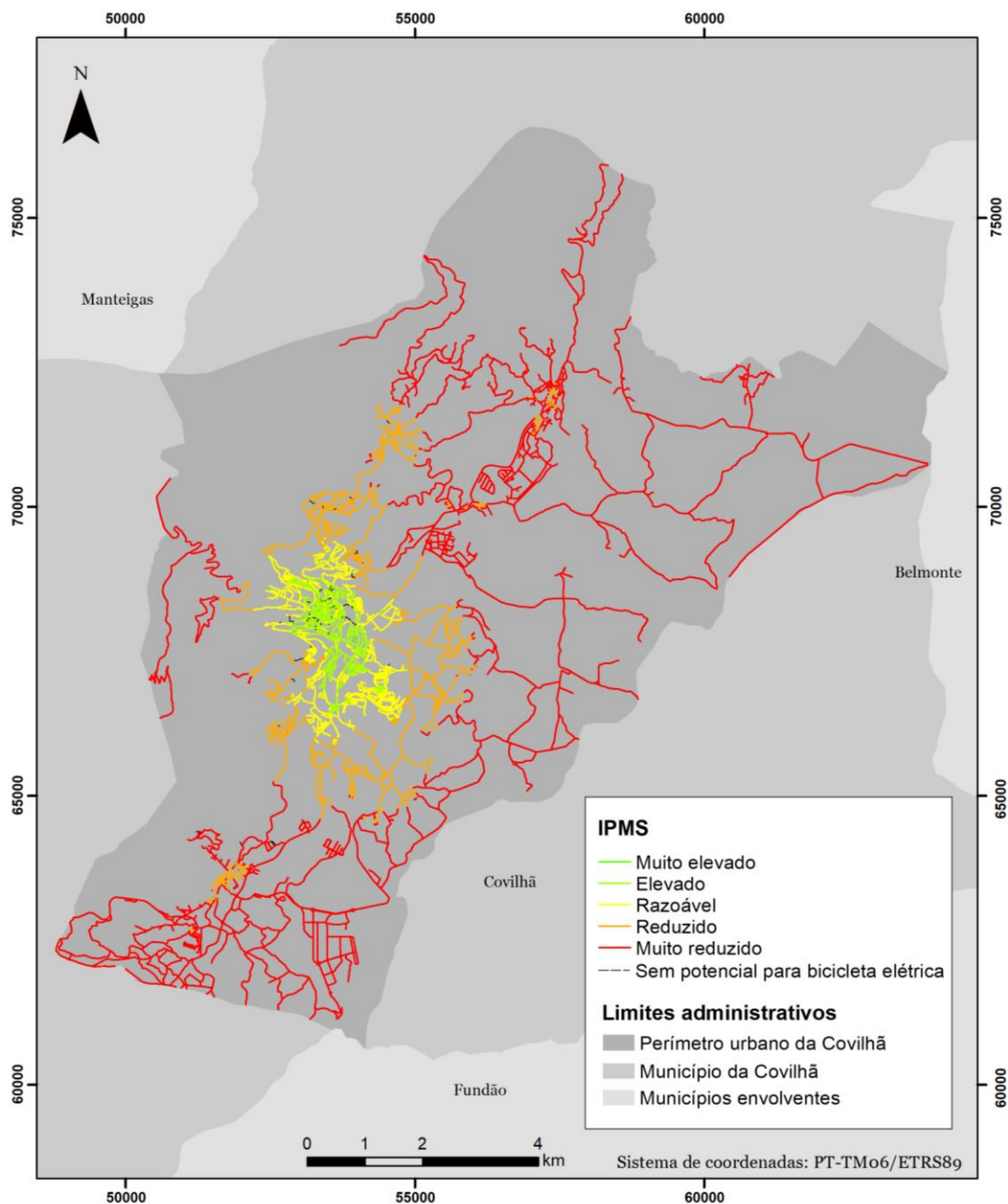


Figura 62 - Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação 50% *walkability* + 50% *bikeability* elétrica

A interpretação dos mapas evidenciam a presença de um *cluster* no que respeita à localização dos equipamentos, o que se reflete na classificação e aptidão para a mobilidade suave. O perímetro contém mais duas pequenas concentrações, uma na parte norte e outra na parte sul da área de estudo, porém, o baixo número de equipamentos localizados nestas áreas resulta em valores mais baixos de potencial para a mobilidade suave.

6.6 Discussão de resultados

Analisando separadamente os índices que compõem o IPMS, a extensão da rede viária do perímetro urbano da Covilhã com potencial pedonal é baixa, derivado das áreas de serviço serem menos extensas, comparativamente com o potencial de mobilidade em bicicleta convencional e elétrica. Cerca de 16,3% da rede viária da área de estudo é classificada com potencial razoável a muito elevado para a mobilidade pedonal. A concentração dos equipamentos geradores de viagens no território explica a localização destes resultados na área central e de expansão da cidade da Covilhã.

Relativamente ao potencial de mobilidade em bicicleta convencional, uma maior extensão da rede apresenta características adequadas para adotar este tipo de deslocação, como esperado. Comparativamente com a deslocação pedonal, as áreas de serviço calculadas a partir das velocidades operadas em bicicleta levam a que uma maior área seja acessível. Cerca de 29,4% da rede estudada apresenta características aceitáveis para acolher a deslocação pendular em bicicleta convencional (potencial razoável a muito elevado).

No que diz respeito ao uso da bicicleta elétrica, cerca de 38,7% da rede viária apresentam condições razoáveis a muito elevadas para a deslocação em bicicleta elétrica. Este aumento, em relação à bicicleta convencional, é consequência da sua maior capacidade de deslocação em declives mais acentuados, o que justifica a sua utilização em cenários de cidades de encosta.

Relativamente ao Índice de Potencial de Mobilidade Suave, quanto maior é o peso do índice de *bikeability* maior é a percentagem da rede que apresenta condições para a mobilidade suave, sendo especialmente visível na classe “Muito reduzido” e “Elevado”.

De um modo geral os resultados refletem a localização dos polos geradores de viagens e da concentração da população no território. A distribuição espacial dos equipamentos e da densidade populacional é idêntica, tendo em conta a sua correlação, associada ao princípio da oferta-procura. As áreas de expansão com valores elevados da densidade populacional também são evidenciadas pela análise. Tendo em conta que a análise foi aplicada a uma cidade de encosta, os efeitos negativos do fator declive das vias foram atenuados com a consideração do uso de bicicletas elétricas. Os resultados observados tendem assim a coincidir com os resultados esperados, sendo a vantagem principal da abordagem proposta a identificação da extensão dessas áreas e o suporte à definição de condições de conectividade de percursos considerados mais estratégicos.

7. Considerações finais

A União Europeia está na vanguarda no que concerne às políticas de promoção à mobilidade suave, a União Europeia está na vanguarda, com várias medidas implementadas desde 2005, com maior incidência na última década. No entanto, atualmente é possível afirmar que a promoção e adoção da deslocação suave está mais presente nos países do centro e norte da Europa.

No contexto nacional, é visível o esforço continuado do estado, e em particular das autarquias, no âmbito da promoção da deslocação em bicicleta, com metas otimistas para a implementação de ciclovias. Importa destacar, no entanto, que o veículo privado é o principal modo de transporte para 47% portugueses (ENMAC 2020-2030, 2019), sendo necessário reverter esta tendência. Neste sentido, a ENMAC prevê a implementação de uma rede de 5485 km de ciclovias em Portugal Continental até 2030, mais 3895 km do que existia em 2019, um aumento de 345% (ENMAC 2020-2030, 2019).

Neste âmbito, os índices de *walkability* e *bikeability* podem ajudar na tomada de decisões e alocação de meios na promoção da adoção de modos suaves de transporte. Os índices de *walkability* analisados caracterizam-se por alguma falta de consenso nas variáveis a considerar. Já o índice de *bikeability*, habitualmente, recorre a um maior número de variáveis. As variáveis consideradas na metodologia proposta refletem as variáveis mais utilizadas na bibliografia analisada, mantendo alguma simplicidade, verificação de disponibilidade da informação e facilidade de implementação.

O facto da difícil aquisição de muitas variáveis ser uma realidade dificulta estudos rigorosos. Nesse sentido, parece importante um maior investimento no levantamento *in situ* de dados referentes à rede viária. A recolha desta informação é importante e permitirá sustentar a elaboração de Planos de Mobilidade Urbana Sustentável adequados e meticolosos, tal como beneficiará a atingir outros objetivos semelhantes. Para minimizar este aspeto foram utilizadas na análise variáveis validadas pela bibliografia, cuja informação se encontra normalmente disponível ou que pode ser tratada com os recursos existentes nas entidades gestoras das infraestruturas de transporte urbanas. Nesse sentido, foram consideradas as variáveis polos geradores de viagens, a densidade populacional e características da rede viária.

Para automatizar os processos envolvidos na obtenção destes índices é possível recorrer a ferramentas de programação por objetos. O potencial da ferramenta *ModelBuilder*, ou outras semelhantes, que permitem esta automatização, não tem vindo a ser aproveitado no domínio dos transportes, contudo, nota-se um maior uso nos últimos anos, pelo que a sua utilização tende a ser mais frequente.

Apesar das ferramentas apresentadas facilitarem e acelerarem o processo de cálculo do potencial pedonal e ciclável, a necessidade de tratamento e preparação de dados é ainda enorme, sobretudo no que à rede viária concerne. A importação direta de dados como os equipamentos e relativos à densidade populacional trariam maior eficácia e utilidade ao modelo. Ferramentas presentes na *toolbox* “OSM Editor” podem ser incorporadas em trabalhos futuros.

Um maior aproveitamento das tecnologias SIG como meio de suporte a análises que pretendam apoiar a promoção e o uso dos modos suaves de transporte pode sustentar com informação valiosa a alocação bem direcionada do investimento por parte de quem decide. As ferramentas aqui apresentadas podem auxiliar nessas decisões.

As ferramentas aqui apresentadas calculam o tempo de percurso para cada troço da rede analisada e o potencial pedonal, ciclável e de mobilidade suave, através de uma análise multicritério espacial

Fica também claro a necessidade de expandir a análise a outros modos de transporte em expansão, como a trotineta elétrica, embora as suas necessidades não se afastem muito da bicicleta elétrica. Também, uma maior flexibilidade pode ser trazida para futuros estudos, permitindo direcionar e adaptar os cálculos a populações específicas, como as crianças, os idosos e as pessoas com necessidades especiais.

Relativamente ao método utilizado, e apesar de alguma complexidade nos processos tomados, a análise multicritério espacial limita-se ainda ao uso de poucas variáveis, apesar de serem as mais representativas. A incorporação de um maior número de variáveis permitiria refinar a análise, no entanto, tornariam a sua aplicação por parte dos municípios e outras entidades mais difícil.

No que diz respeito ao uso do *ModelBuilder*, ficou patente que essa funcionalidade aparenta estar idealizada para modelos de menor dimensão e complexidade. Modelos de maior complexidade necessitam de bons conhecimentos de linguagem de programação, como Python, que ajudam, aceleram e facilitam a integração de vários processos no ambiente *ModelBuilder*. Em conclusão, o *ModelBuilder* é essencialmente adequado para acelerar processos, no entanto, pode usado para o desenvolvimento deste tipo de ferramentas.

Relativamente aos inquéritos efetuados para avaliar os pesos adequados dos índices de *walkability* e *bikeability* no cálculo do Índice de Potencial de Mobilidade Suave, e analisando as respostas obtidas, fica patente a necessidade de diferenciar o conceito de *bikeability* relativo à bicicleta convencional do conceito de *bikeability* associado à bicicleta elétrica. As respostas ao inquérito dão espaço à especulação de que muitas das respostas favoráveis ao uso da bicicleta em cidades de encosta/ montanha derivam da idealização do uso da bicicleta elétrica. O facto da bicicleta elétrica ter uma vantagem considerável relativamente à bicicleta convencional em

ambiente montanhoso diz e expõe a necessidade de desassociar a bicicleta elétrica ao conceito de *bikeability*. Nesse sentido, o conceito de *e-bikeability* é proposto.

Os resultados do Índice de Potencial de Mobilidade Suave demonstram que a bicicleta elétrica deve ser considerada em estudos do domínio da mobilidade suave, sobretudo quando se trata de cidades de encosta/ montanha, como o caso da cidade da Covilhã. Considerando a distribuição dos pesos de 50%/ 50%, o IPMS, considerando a combinação do potencial pedonal e em bicicleta convencional, classifica quase 7% da rede viária com elevado e muito elevado potencial de mobilidade suave, combinando o modo pedonal e em bicicleta elétrica essa percentagem sobe para 9,3%. Esta diferenciação resulta sobretudo das restrições derivadas da inclinação longitudinal dos troços da rede viária.

Bibliografia

- AASHTO. (2010). *AASHTO Guide for the Planning, Design, and Operation of Bicycle Facilities*. Obtido em 2021, de <https://www.albany.edu/ihi/files/DraftBikeGuideFeb2010.pdf>
- Ali Soltani, A. A. (2006). Analyzing the Impacts of Microscale Urban Attributes on Travel: Evidence from Suburban Adelaide, Australia.
- Alison Carver, A. T. (2010). Are children and adolescents less active if parents restrict their physical activity and active transport due to perceived risk?
- ANSR. (2014). *Guia do Peão*. Obtido em 2021, de http://www.ansr.pt/Campanhas/Documents/Guia%20do%20Pe%C3%A3o%202013/Guia_do_Peao_ANSR_versao_04-02-2014.pdf
- ANSR. (2019). *Zonas 30 - Manual de apoio à implementação de Zonas 30*. Obtido de <http://www.ansr.pt/Legislacao/RegulamentoSinalizacaoTransito/RegulamentoSinalizacaoTransito/Manual%20Zonas%2030.pdf>
- Arellana, S. L. (2020). Developing an urban bikeability index for different types of cyclists as a tool to prioritise bicycle infrastructure investments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. doi:10.1016/j.tra.2020.07.010
- Assembleia da República. (2009). Resolução da Assembleia da República n.º 3/2009. *Plano nacional de promoção da bicicleta e outros modos*.
- Benenson, M. R. (s.d.). Measuring the Gap between Car and Transit Accessibility: Estimating access using a High-Resolution Transit Network Geographic Information System. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. doi:10.3141/2144-04
- Bharti, C. &. (2013). Speed Distribution Curves for Pedestrians During Walking and Crossing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 660-667.
- Borut Zgonc, M. T. (2019). The impact of distance on mode choice in freight transport.
- Brownson, B. H. (2001). Environmental and Policy Determinants of Physical Activity in the United States. *American Journal of Public Health (AJPH)*. Obtido de <https://ajph.aphapublications.org/doi/full/10.2105/AJPH.91.12.1995>

- Call, D. A. (2011). The Effect of Snow on Traffic Counts in Western New York State.
- Câmara Municipal de Aveiro. (outubro de 2020). *Avança o desenvolvimento da nova BUGA*. Obtido em 10 de 2021, de CM Aveiro: <https://www.cm-aveiro.pt/municipio/comunicacao/noticias/noticia/avanca-o-desenvolvimento-da-nova-buga>
- Câmara Municipal de Lisboa. (2021). *Como Pedala Lisboa - Rumo a uma cidade mais sustentável, inclusiva e segura*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa, Direção Municipal da Mobilidade, Instituto Superior Técnico. Obtido em 2021, de https://www.lisboa.pt/fileadmin/cidade_temas/mobilidade/documentos/Com_o_Pedala_Lisboa.pdf
- Carlos Pardo, R. O.-V. (2005). Time, speed and space perception in three modes of transport.
- Carpentieri, G. &. (2021). Quality of life in the urban environment and primary health services for the elderly during the Covid-19 pandemic: An application to the city of Milan (Italy). *Cities*. doi:10.1016/j.cities.2020.103038
- Cattaneo, M. M. (2018). Students' mobility attitudes and sustainable transport mode choice. *Cattaneo, M., Malighetti, P., Morlotti, C., & Paleari, S. (2018). StudInternational Journal of Sustainability in Higher Education*.
- Changnon, S. A. (1996). Effects of summer precipitation on urban transportation.
- Chatziyiannaki, P. &. (2021). 15-Minute City: Decomposing the New Urban Planning Eutopia. doi:10.3390/su13020928
- Citta - Centro de investigação do território, transportes e ambiente. (s.d.). *MOBI-AGE*. Obtido em Abril de 2021, de Mobilidade Ativa e Sustentável na Cidade do Futuro: <https://mobiage.dec.uc.pt/pt-pt/>
- CNU. (Fevereiro de 2021). *Defining the 15-minute city*. Obtido de Congress for the New Urbanism: <https://www.cnu.org/publicsquare/2021/02/08/defining-15-minute-city>
- Coffee, H. P. (2013). Is walkability associated with a lower cardiometabolic risk? *Health & Place*. doi:10.1016/j.healthplace.2013.01.009

Comissão Europeia - Comité das Regiões Europeu. (27 de fevereiro de 2018). *Delivering on low-emission mobility*. Obtido em 2021, de <https://memportal.cor.europa.eu/Handlers/ViewDoc.ashx?pdf=true&doc=CO R-2017-06151-00-00-DT-TRA-EN.docx>

Comissão Europeia. (20 de 07 de 2016a). *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões*. Obtido em 2021, de Estratégia Europeia de Mobilidade Hipocarbónica: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e44d3c21-531e-11e6-89bd-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF

Comissão Europeia. (2016b). *Urban Agenda for EU - Pact of Amsterdam*. Obtido em 2021, de https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/policy/themes/urban-development/agenda/pact-of-amsterdam.pdf

Comissão Europeia. (2017). *Clean Mobility: Implementing the Paris Agreement*. Obtido em 2021, de Web site da Comissão Europeia: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/856009/Factsheet%20Clean%20Mobility%20%20Implementing%20the%20Paris%20Agreement.pdf>

Comissão Europeia. (2018). *European Transport Policy - Europe on the Move*. European Economic and Social Committee. Obtido de <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/files/qe-04-18-738-en-n.pdf>

Comissão Europeia. (2018). *Statistical Pocketbook - EU Transport in Figures*. Obtido em 2020, de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/da0cd68e-1fdd-11eb-b57e-01aa75ed71a1>

Comissão Europeia. (17 de 05 de 2018a). *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões*. Obtido em 2021, de Europa em Movimento - Mobilidade sustentável para a Europa: segura, conectada e limpa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0293>

Comissão Europeia. (12 de 12 de 2018b). *Graz Declaration*. Obtido em 2021, de <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-15476-2018-INIT/en/pdf>

Comissão Europeia. (2019). *Transport in the European Union - Current Trends and Issues*.

- Comissão Europeia. (2019a). *Transport in the European Union - Current Trends and Issues*. Obtido em 2021, de <https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>
- Comissão Europeia. (2019b). *Promoting Mobility Behaviour Change*.
- Comissão Europeia. (09 de 12 de 2020). *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico E Social Europeu e ao Comité das Regiões*. Obtido em 2021, de Estratégia de mobilidade sustentável e inteligente – pôr os transportes europeus na senda do futuro: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0789&from=EN>
- Comissão Europeia. (2021). *Clean transport, Urban transport - EU Funded Cycle Projects*. Obtido em 2021, de Web site da Comissão Europeia - Mobility and Transport: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cycling/guidance-cycling-projects-eu/eu-funded-cycle-projects_en
- DGT. (2015). *Cidades Sustentáveis 2020*. Direção-Geral do Território. Obtido em 2020, de https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/ficheiros-cidades/cidades_sustentaveis2020.pdf
- Diário da República. (02 de 06 de 2020). *DESPACHO n.º 5979/2020*. Obtido em 2021, de Diário da República n.º 107/2020, Série II de 2020-06-02: <https://dre.pt/home/-/dre/134918042/details/maximized>
- Duim, L. A. (2017). Walking speed of older people and pedestrian crossing time. *Journal of Transport & Health*, 5, 70-76.
- Duncan, A. W. (2011). Validation of Walk Score® for Estimating Neighborhood Walkability: An Analysis of Four US Metropolitan Areas. *Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph8114160
- ELTIS. (2019). *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan (2º Edition)*. Obtido de https://www.eltis.org/sites/default/files/sump_guidelines_2019_interactive_documento_1.pdf

- ENDS 2015. (2007). *Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável*. Obtido em 2021, de http://www.rcc.gov.pt/SiteCollectionDocuments/ENDS-PIENDS_2015.pdf
- ENMAC 2020-2030. (02 de 08 de 2019). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 131/2019*. Obtido em 2020, de Diário da República n.º 147/2019, Série I de 2019-08-02: <https://dre.pt/home/-/dre/123666113/details/maximized>
- Escobar, A. S. (2019). Comfort and Time-Based Walkability Index Design: A GIS-Based Proposal. *Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph16162850
- ESRI. (s.d.). *A quick tour of using iterators*. Obtido em 2021b, de Desktop ArcGIS: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/a-quick-tour-of-using-iterators-for-iteration-looping-.htm>
- ESRI. (s.d.). *O que são os SIG*. Obtido em 2021a, de <https://www.esri-portugal.pt/pt-pt/o-que-sao-os-sig/overview>
- ESRI. (s.d.). *Use ModelBuilder*. Obtido em 2020, de <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/modelbuilder-quick-tour.htm>
- Europeia, C. (2018). *Graz Declaration*.
- Eva Heinen, B. v. (2009). *Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature*.
- Franěk. (2013). Environmental Factors Influencing Pedestrian Walking Speed. *Perceptual and Motor Skills*, 992-1019. doi:0.2466/06.50.PMS.116.3.992-1019
- Frank, S. S. (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: Findings from SMARTRAQ. *American Journal of Preventive Medicine*. doi:10.1016/j.amepre.2004.11.001
- Frank, S. S. (2010). The development of a walkability index: application to the Neighborhood Quality of Life Study. *British Journal of Sports Medicine*. doi:10.1136/bjsm.2009.058701
- Glazier, C. W. (2014). Density, Destinations or Both? A Comparison of Measures of Walkability in Relation to Transportation Behaviors, Obesity and Diabetes in Toronto, Canada. *PLOS ONE*. doi:10.1371/journal.pone.0085295

- Glazier, W. C. (2012). *Development and Validation of an Urban Walkability Index for Toronto, Canada*.
- González, F. M. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. 145. Obtido em 2021, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/64940/1/Los%20SIG%20y%20la%20Investigacion%20en%20Ciencias%20Humanas%20y%20Sociales.pdf>
- Handy. (2005). *Critical Assessment of the Literature on the Relationships Among Transportation, Land Use, and Physical Activity*. Obtido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.2645&rep=rep1&type=pdf>
- Harkey, R. K. (1998). *The Bicycle Compability Index: A Level of Service Concept, Implementation Manual*. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*. Obtido de <https://safety.fhwa.dot.gov/tools/docs/bci.pdf>
- Heywood, Cornelius, & Carver. (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems* (4^o ed.).
- Hosseinzadeh, H. &. (2018). Walkability index across trip purposes. *Sustainable Cities and Society*. doi:10.1016/j.scs.2018.07.005
- IMT. (2012). *Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves 2013-2020*. IMT.
- IMT. (2021). *PPBOMS - Participação Pública*.
- IMT/ GPIA. (2011). *Colecção de Brochuras Técnicas/ Temáticas, Rede Ciclável - Princípios de Planeamento e Desenho*. Obtido em 2021, de http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/DocumentosdeReferencia/PacotedaMobilidade/Documents/Pacote%20da%20Mobilidade/Rede%20Cicl%C3%A1vel_Princ%C3%ADpios%20de%20Planeamento%20e%20Desenho_Mar%C3%A7o%202011.pdf
- IMT/ GPIA. (2012a). *Ciclando - Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves 2013-2020*. Obtido em 2020, de http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/DocumentosdeReferencia/PlanoNacionalBicicleta/Documents/PPBOMS_Final.pdf

- IMT/ GPIA. (2012b). *Diretrizes Nacionais para a Mobilidade*. Obtido em 2021, de https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Planeamento/DocumentosdeReferencia/PacotedaMobilidade/Documents/Pacote%20da%20Mobilidade/Directrizes_vposconsultapublica_abril2012.pdf
- INE. (2011). Obtido de https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=
- Irtenkauf. (2014). Analyzing Tobler's Hiking Function and Naismith's Rule.
- Jan Garrard, G. R. (2008). Promoting transportation cycling for women: The role of bicycle infrastructure.
- Jianxi Feng, M. D. (2013). Travel Time and Distance in International Perspective: A Comparison between Nanjing (China) and the Randstad (The Netherlands).
- Keith K. Knapp, L. D. (2000). Winter Storm Event Volume Impact Analysis Using Multiple-Source Archived Monitoring Data.
- Kelderman, J. (2019). The effect of the built environment on bicycle use as travel mode (Tese de Mestrado). 72.
- Kevin Keay, I. S. (2005). The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia.
- Kitamura, M. L. (1997). A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the San Francisco Bay Area. *Transportation*, 125-158. Obtido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1017959825565.pdf>
- Koohsari, O. C.-C. (2016). Walkability and walking for transport: characterizing the built environment using space syntax. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. doi:10.1186/s12966-016-0448-9
- Krenn, O. T. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*. doi:10.4236/ojce.2015.54045
- Kuemmel, H. &. (1993). Traffic Volume Reductions Due to Winter Storm Conditions.

- Lei Tang, P. T. (2012). Ridership effects of real-time bus information system: A case study in the City of Chicago.
- Leite, F. &. (2011). Application of GIS in Public Transportation. Case-study: Almada, Portugal.
- Malczewski, J. (2007). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature.
- Markus Hofmann, M. O. (2005). The impact of adverse weather conditions on urban bus performance measures.
- Martins. (2012). Construção de um Modelo de Análise Espacial em SIG, que determine a Localização Ótima de Equipamentos Sociais para idosos, no Concelho de Lisboa.
- McMillan, T. E. (2007). The relative influence of urban form on child's travel mode to school.
- Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (2014). *Green Growth Commitment*. Obtido de https://www.crescimentoverde.gov.pt/wp-content/uploads/2014/10/CrescimentoVerde_ing_v_pq_bx.pdf
- Motta. (2017). A Bikeability Index for Cuririba (Brazil).
- Moudon, L. &. (2006). The 3Ds + R: Quantifying land use and urban form correlates of walking. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. doi:10.1016/j.trd.2006.02.003
- Murad, N. &. (2019). Modelling Sustainable Urban Transport Performance in the Jakarta city Region: A GIS Approach. *Sustainability*. doi:10.3390/su11071879
- Nielsen, M. &. (2007). Analysing transport costs of Danish forest wood chip resources by means of continuous cost surfaces. doi:10.1016/j.biombioe.2007.01.018
- Nina Schaap, M. K. (2016). Cycling and walking: the grease in our mobility chain.
- Nogueira, A. (2020). Avaliação do potencial da infraestrutura pedonal para a promoção da mobilidade suave em cidades de encosta.
- Olsson, A.-L. L. (2003). Factors that influence choice of travel mode in major urban areas. *The attractiveness of Park & Ride*.

- ONU. (s.d.). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Obtido em 2021, de unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/
- Owen, C. L. (2007). Neighborhood Walkability and the Walking Behavior. *American Journal of Preventive Medicine*. doi:10.1016/j.amepre.2007.07.025
- Papa, C. G. (2018). Measuring walking accessibility to public transport for the elderly: the case of Naples. *Land Use, Mobility and Environment*. doi:10.6092/1970-9870/5766
- Park, C. L. (2013). To Walk or Not to Walk: Testing the Effect of Path Walkability on Transit Users' Access Mode Choices to the Station. *International Journal of Sustainable Transportation*. doi:10.1080/15568318.2013.825036
- Park, D. L. (2014). Perception-Based Walkability Index to Test Impact of Microlevel Walkability on Sustainable Mode Choice Decisions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. doi:10.3141/2464-16
- Passos, S. (2018). Instrumento de apoio à criação de um mapa de potencial ciclável da rede viária com recurso a SIG.
- PASTA project. (2017). *Handbook of good practice case studies for promotion of walking and cycling*. Obtido de https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/cycling-guidance/pasta_handbook_of_good_practice_case_studies_for_promotion_of_walking_and_cycling.pdf
- Pereira. (30 de 11 de 2016). *ECF*. Obtido de Portugal, Europe's next cycling nation? - blog post by B. C. Pereira: <https://ecf.com/news-and-events/news/portugal-europes-next-cycling-nation-blog-post-b-c-pereira>
- Perera, H. S. (2019). Electric vehicle recharging infrastructure planning and management in urban. *Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119559
- PUM. (2018). *Partnership for Urban Mobility - Final Action Plan*. Obtido em 2021, de https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/2018-11-14_pum_final_action_plan.pdf
- Rachel B Copperman, C. B. (2009). Children's Activity-Travel Patterns and Implications for Activity-Based Travel Demand Modeling.

- Raktim Mitra, R. N. (2010). The Built Environment and School Travel Mode Choice in Toronto, Canada.
- Reyer, F. S. (2014). Walkability is Only Part of the Story: Walking for Transportation in Stuttgart, Germany. *Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph110605849
- Richard Gilbert, C. O. (2010). Child-and Youth-Friendly Land-Use and Transport Planning Guidelines for Manitoba.
- Rupi, B. &. (2015). An Analysis of Bicycle Travel Speed and Disturbances on Off-street and On-street Facilities. *Transportation Research Procedia*, 5, 82-94.
- Sandeep Datla, S. S. (2010). Variation of Impact of Cold Temperature and Snowfall and Their Interaction on Traffic Volume.
- Sayed Iftekhar Md., S. T. (2010). Review of transportation choice research in Australia: Implications for sustainable urban transport design.
- Schmid-Querg, K. G. (2021). The Munich Bikeability Index: A Practical Approach for Measuring Urban Bikeability. *Sustainability*. doi:10.3390/su13010428
- Stockton, D.-W. S. (2016). Development of a novel walkability index for London, United Kingdom: cross-sectional application to the Whitehall II Study. *BMC Public Health*. doi:10.1186/s12889-016-3012-2
- Thomas H. Maze Manish Agarwai, G. B. (2006). Whether Weather Matters to traffic Demand, Traffic Safety, and Traffic Operations and Flow.
- Tran, Z. Y. (2020). Cyclists' personal exposure to traffic-related air pollution and its influence on bikeability. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. doi:10.1016/j.trd.2020.102563
- TransLink. (2011). *Cycling for Everyone - A Regional Cycling Strategy for Metro Vancouver*.
- Tseng, W. &. (2018). Evaluating Disparities in Elderly Community Care Resources: Using a Geographic Accessibility and Inequality Index. *Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph15071353

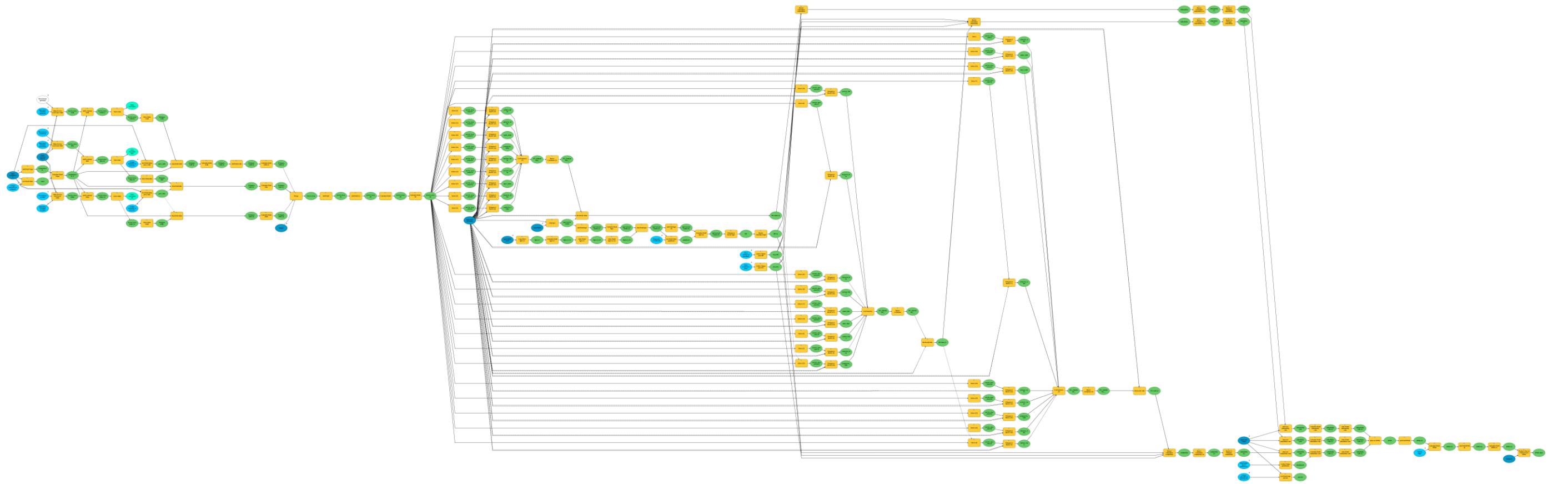
- Urrego, P. G. (2013). Cali Bikeability Index Map: A tool for evaluating public investment and future needs.
- USEPA. (2003). *EPA's Draft Report on the Environment Technical Document*. United States Environmental Protection Agency, Washington. Obtido em 2021, de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30005E2Z.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000%20Thru%202005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=pubnumber%5E%22600R03050%22&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQFi>
- W2G. (Agosto de 2020). *A Cidade de 15 minutos*. Obtido de way2go: <https://www.w2g.pt/2020/08/a-cidade-de-15-minutos-747/>
- Wolny, O. Z. (2019). Towards Sustainable Development and Preventing Exclusions—Determining Road Accessibility at the Sub-Regional and Local Level in Rural Areas of Poland. *Sustainability*. doi:10.3390/su11184880
- Xu, C. &. (2017). On the applicability of a Western bikeability index in the Chinese context. *International review for spatial planning and sustainable development*. doi:10.14246/irspsdsd.8.1 59
- Y. Al Hassan, D. J. (1999). The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within Lothian region, Scotland.
- ZERO. (2020). *ZERO quer verdadeiros planos de mobilidade urbana sustentável (PMUS) obrigatórios*. Obtido de ZERO: <https://zero.org/zero-quer-verdadeiros-planos-de-mobilidade-urbana-sustentavel-pmus-obrigatorios/>
- Zhan Guo, N. H. (2007). Impact of Weather on Transit Ridership in Chicago, Illinois.

Anexos

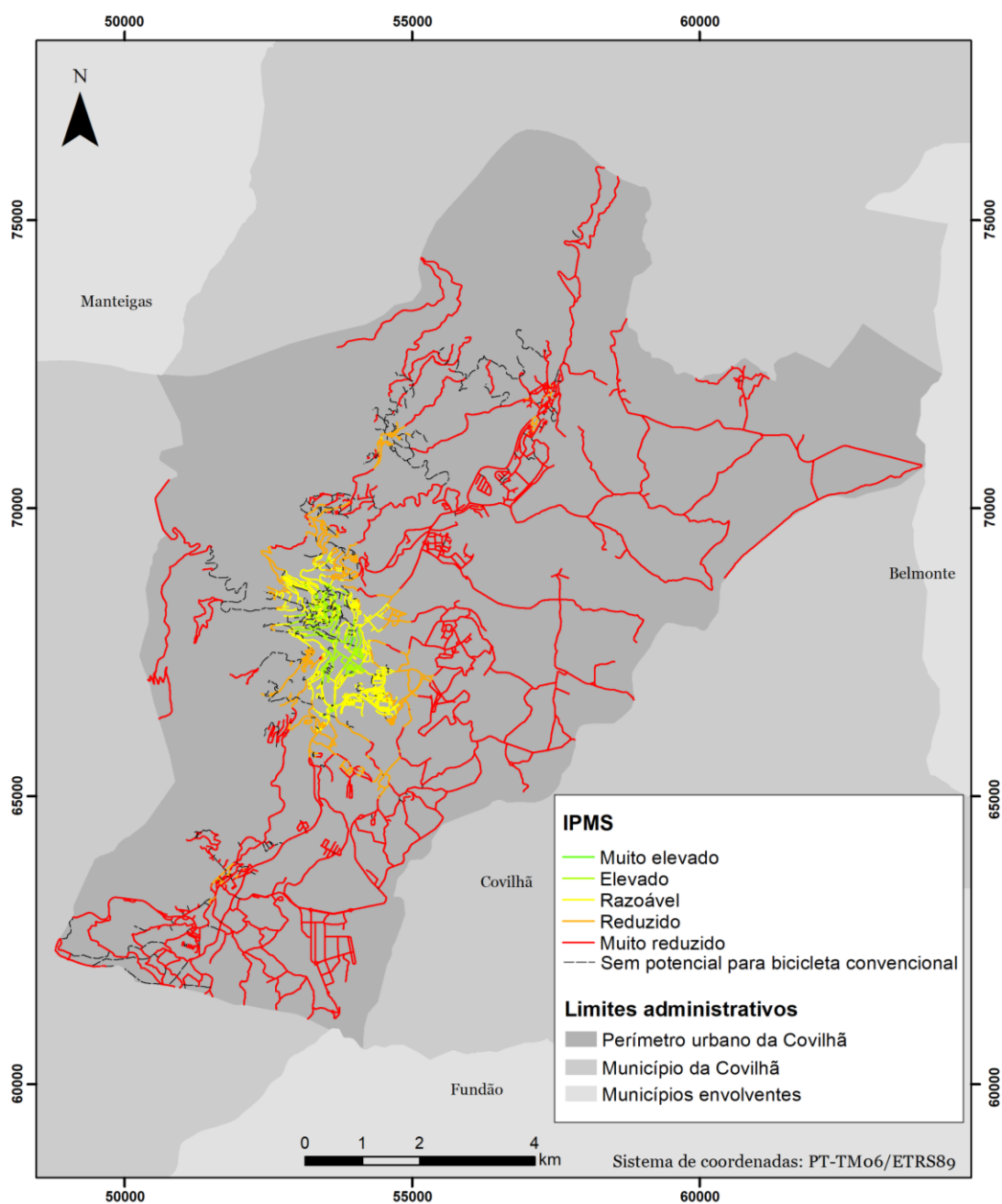
Anexo 1: Modelo da Ferramenta 1 – Tempo de percurso a pé e em bicicleta convencional e elétrica



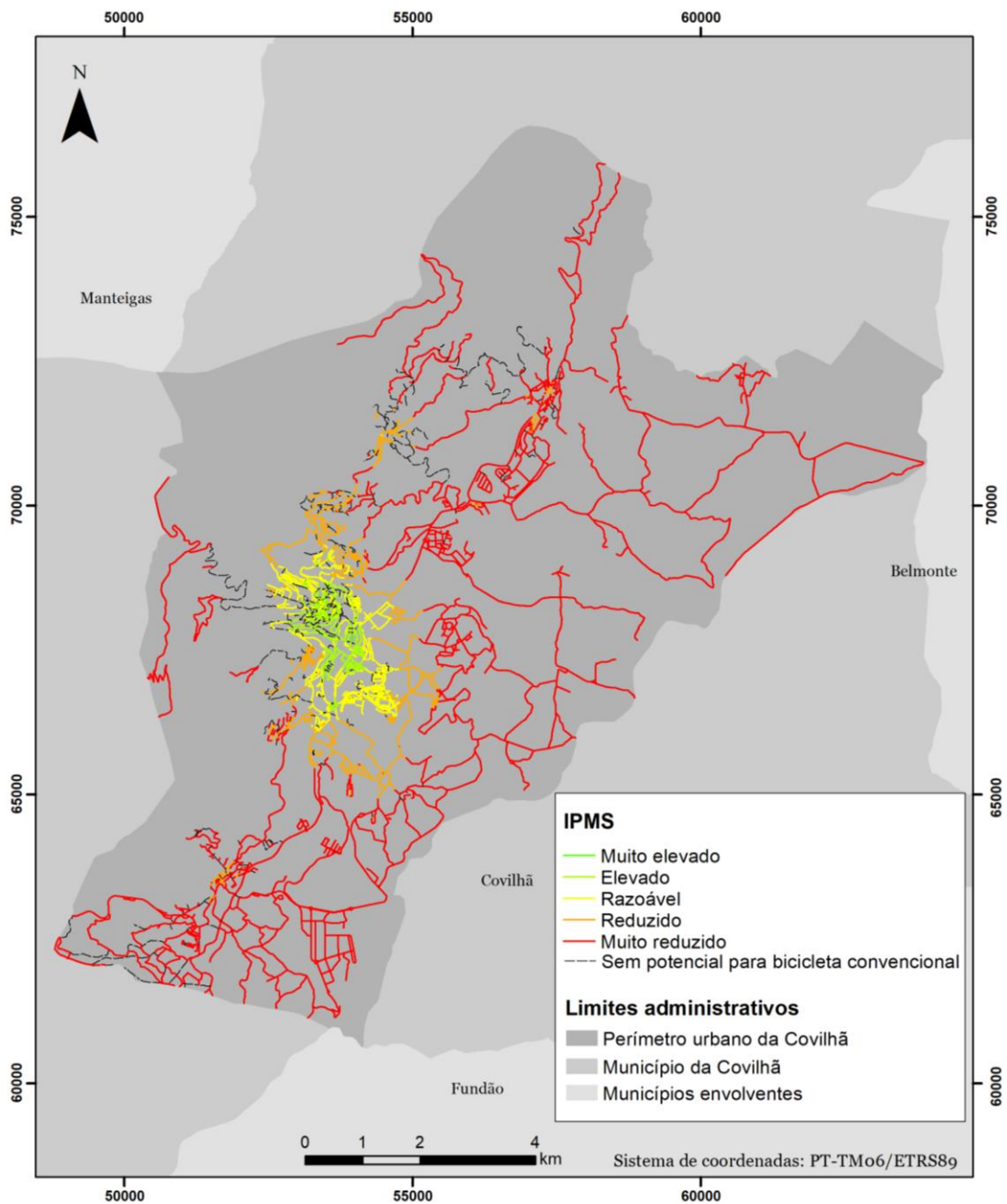
Anexo 2: Modelo da Ferramenta 2 – IPMS



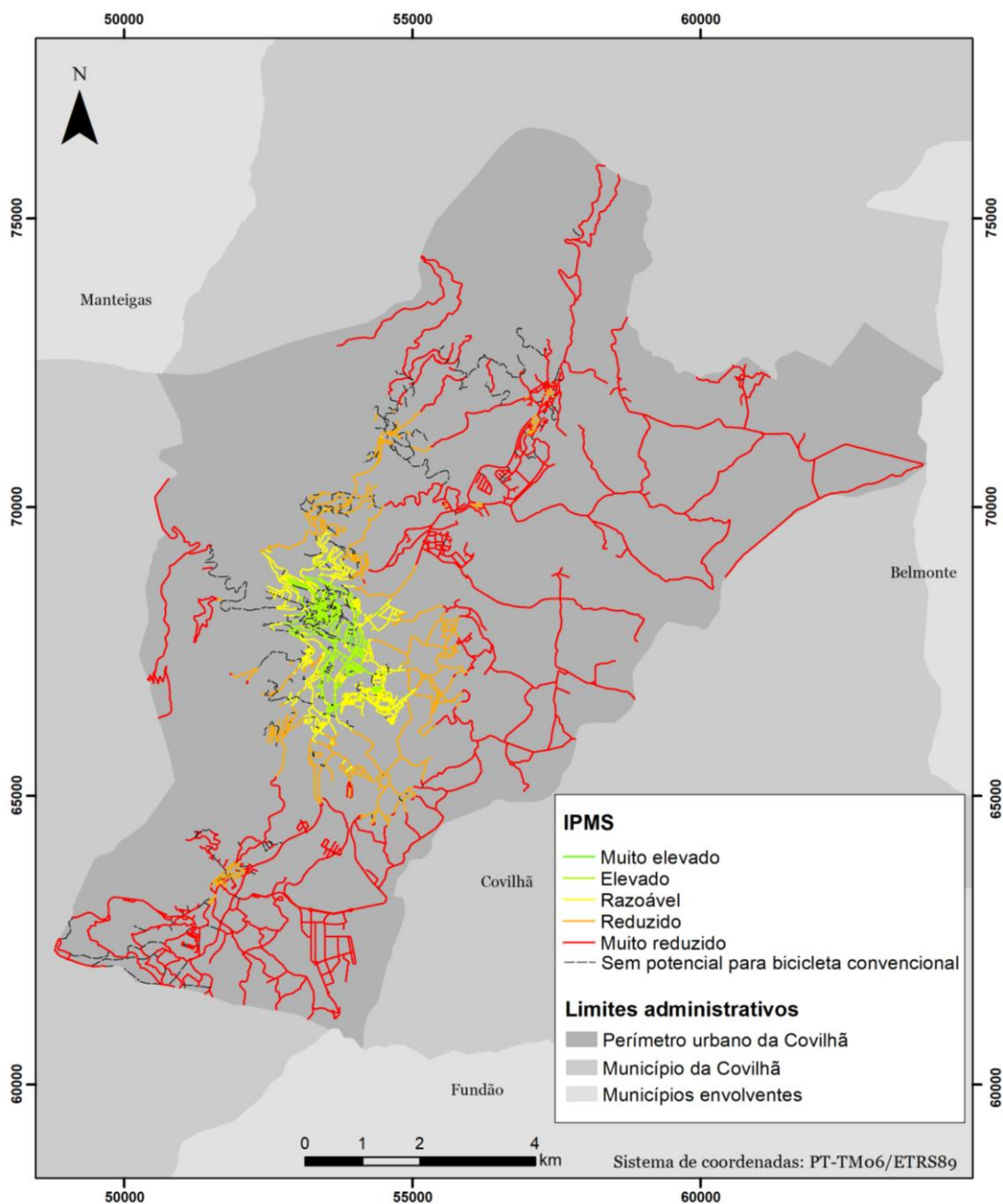
Anexo 3: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* convencional (70/30)



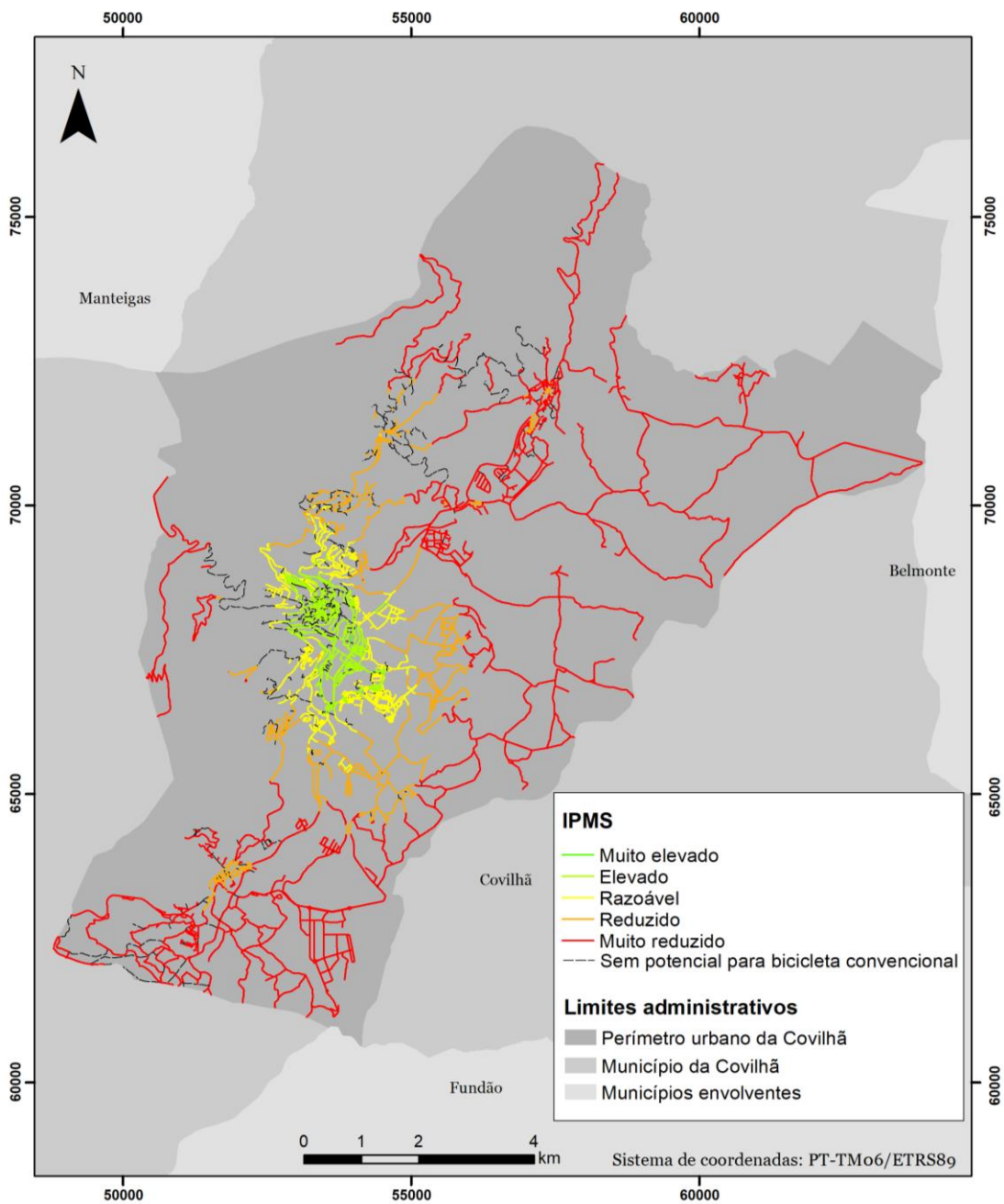
Anexo 2: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* convencional (60/40)



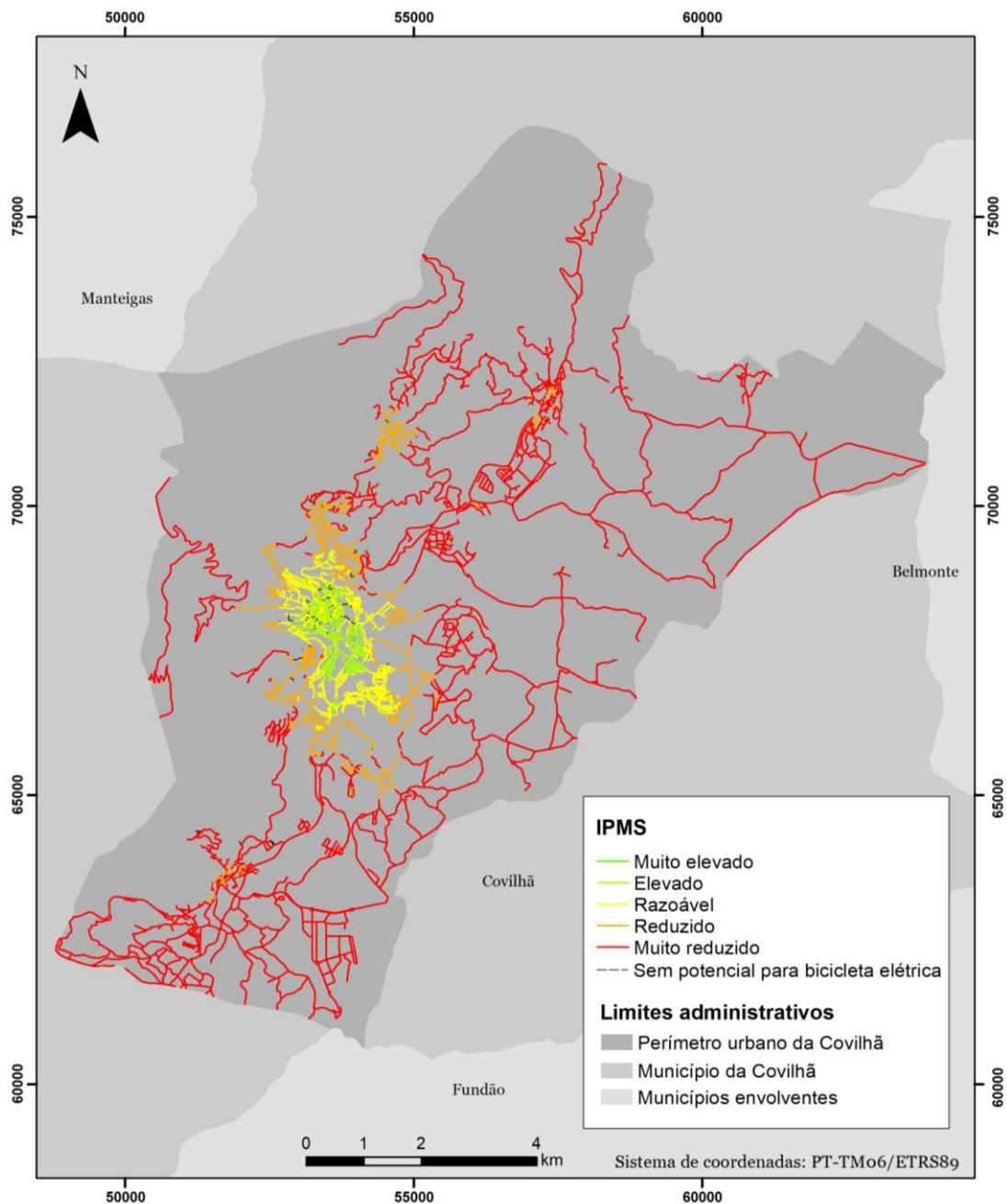
Anexo 3: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* convencional (40/60)



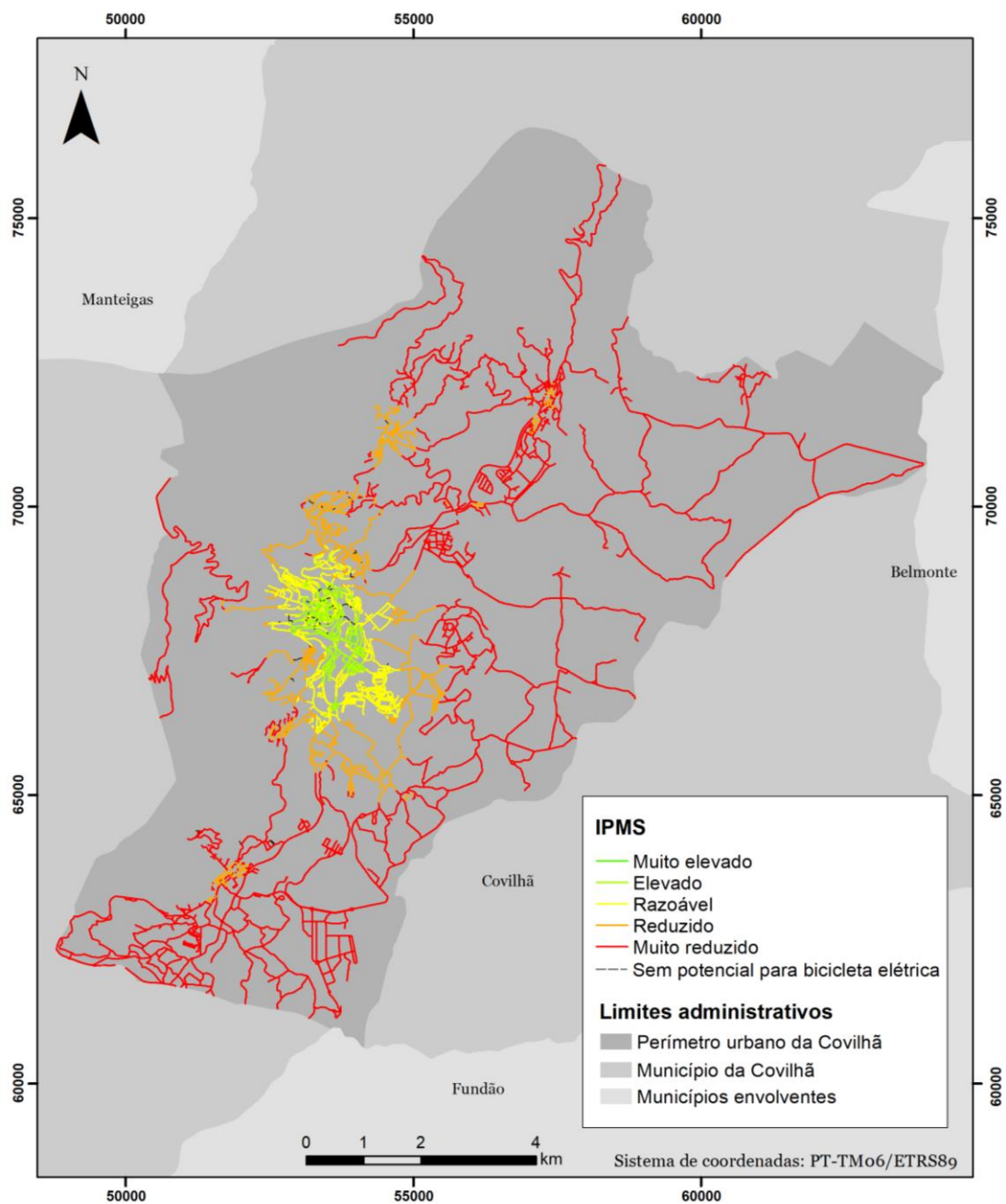
Anexo 4: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* convencional (30/70)



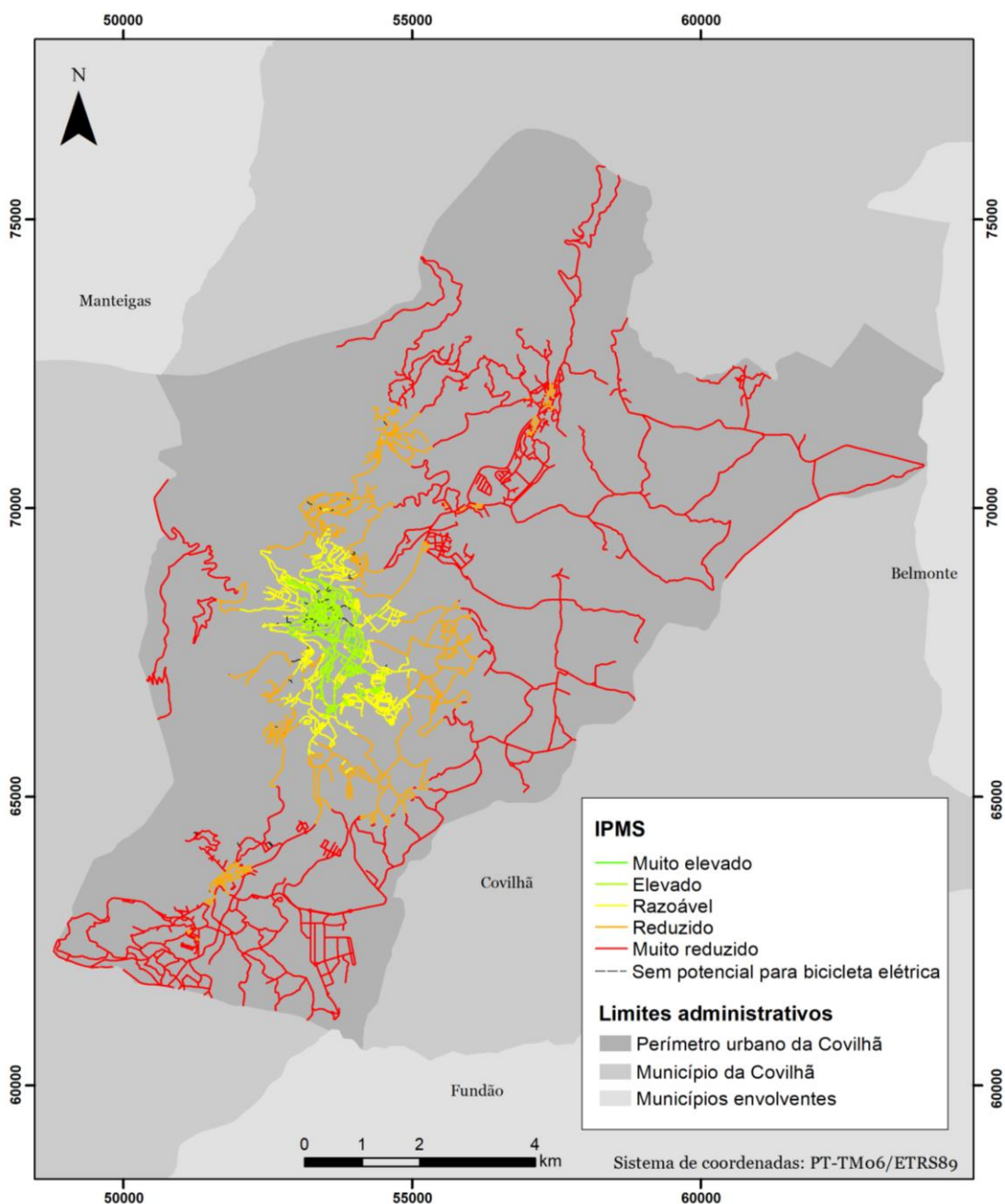
Anexo 5: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* elétrica (70/30)



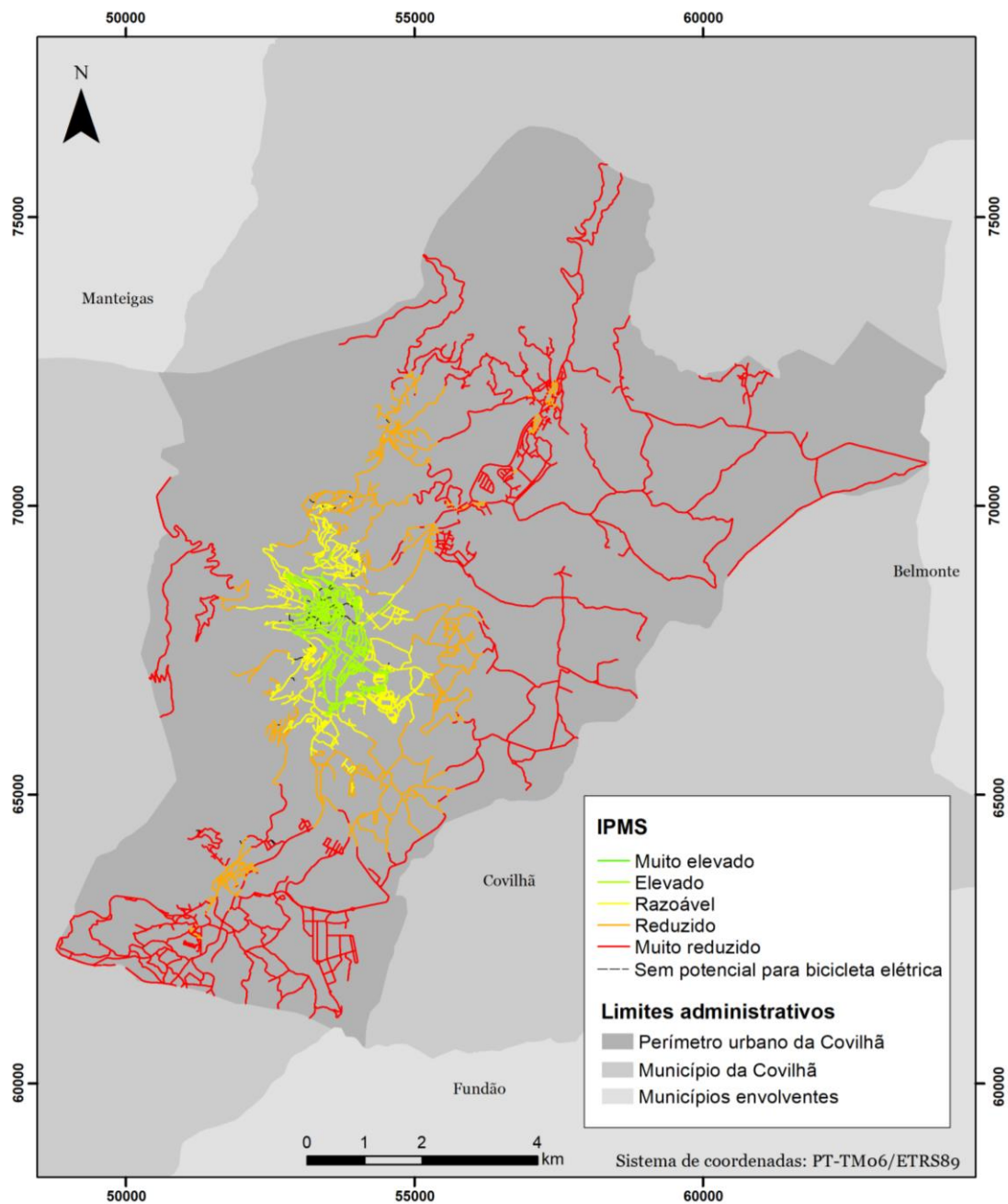
Anexo 6: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* elétrica (60/40)



Anexo 7: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* elétrica (40/60)



Anexo 8: Mapa do Índice de Potencial de Mobilidade Suave da rede viária do perímetro urbano da Covilhã para a combinação *walkability* + *bikeability* elétrica (30/70)

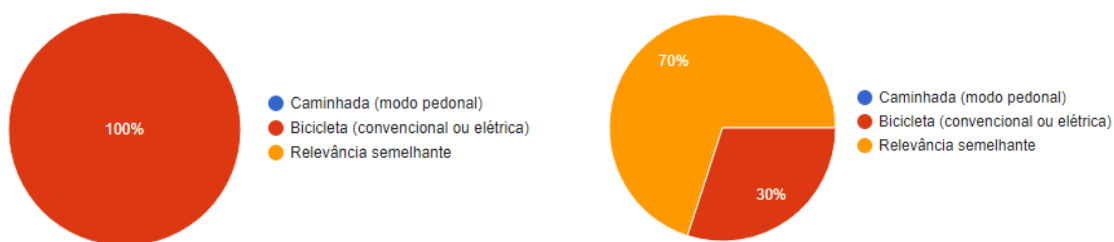


Anexo 9: Inquérito

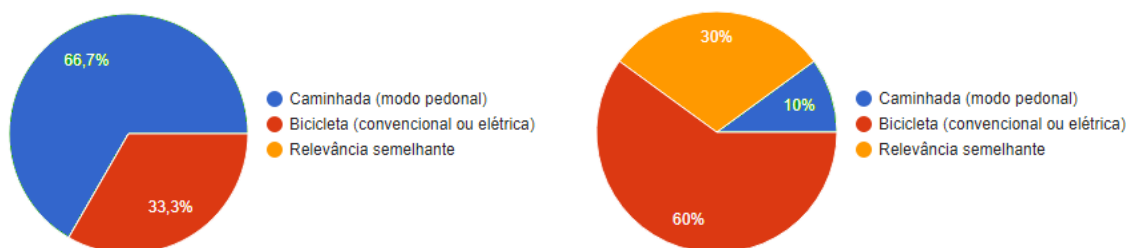
Questões	Respostas (opções)
<p>Considerando os modos suaves de transporte, pedonal e de bicicleta (convencional ou elétrica), qual destas opções lhe parece mais relevante nas deslocações pendulares efetuadas em áreas urbanas?</p>	<p><input type="radio"/> Caminhada (modo pedonal)</p> <p><input type="radio"/> Bicicleta (convencional ou elétrica)</p> <p><input type="radio"/> Relevância semelhante</p>
<p>E nas deslocações pendulares efetuadas em áreas urbanas em cidades de encosta/montanha?</p>	<p><input type="radio"/> Caminhada (modo pedonal)</p> <p><input type="radio"/> Bicicleta (convencional ou elétrica)</p> <p><input type="radio"/> Relevância semelhante</p>
<p>Para definir o potencial de mobilidade suave de uma via urbana é necessária uma combinação entre os índices de <i>walkability</i> (modo pedonal) e <i>bikeability</i> (modo ciclável). Na sua opinião, em áreas urbanas, que combinação traduz melhor a relevância de um modo em relação ao outro.</p>	<p><input type="radio"/> Modo pedonal (80%) + Modo ciclável (20%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (70%) + Modo ciclável (30%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (60%) + Modo ciclável (40%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (50%) + Modo ciclável (50%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (40%) + Modo ciclável (60%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (30%) + Modo ciclável (70%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (20%) + Modo ciclável (80%)</p>
<p>Na sua opinião, em áreas urbanas em cidades de encosta/montanha, que combinação traduz melhor a relevância de um modo em relação ao outro.</p>	<p><input type="radio"/> Modo pedonal (80%) + Modo ciclável (20%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (70%) + Modo ciclável (30%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (60%) + Modo ciclável (40%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (50%) + Modo ciclável (50%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (40%) + Modo ciclável (60%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (30%) + Modo ciclável (70%)</p> <p><input type="radio"/> Modo pedonal (20%) + Modo ciclável (80%)</p>

Anexo 10: Respostas de autárquicos (esquerda) e especialistas (direita) ao inquérito

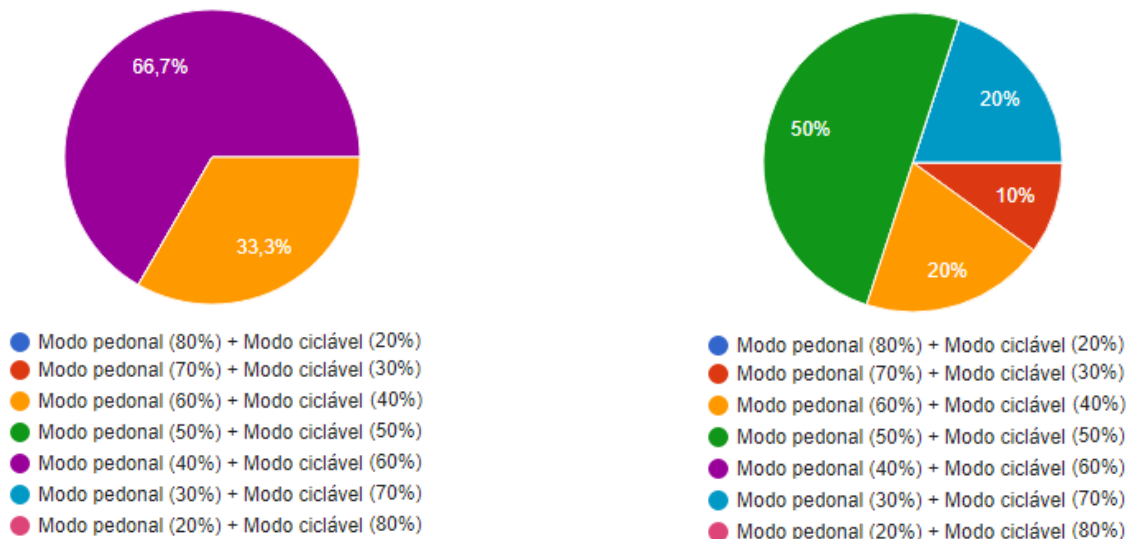
Pergunta 1



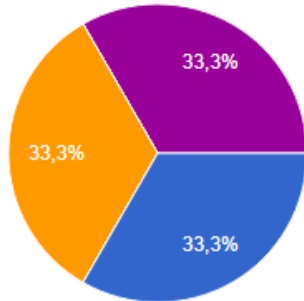
Pergunta 2



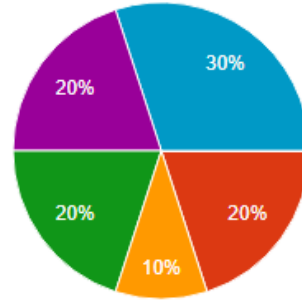
Pergunta 3



Pergunta 4



- Modo pedonal (80%) + Modo ciclável (20%)
- Modo pedonal (70%) + Modo ciclável (30%)
- Modo pedonal (60%) + Modo ciclável (40%)
- Modo pedonal (50%) + Modo ciclável (50%)
- Modo pedonal (40%) + Modo ciclável (60%)
- Modo pedonal (30%) + Modo ciclável (70%)
- Modo pedonal (20%) + Modo ciclável (80%)



- Modo pedonal (80%) + Modo ciclável (20%)
- Modo pedonal (70%) + Modo ciclável (30%)
- Modo pedonal (60%) + Modo ciclável (40%)
- Modo pedonal (50%) + Modo ciclável (50%)
- Modo pedonal (40%) + Modo ciclável (60%)
- Modo pedonal (30%) + Modo ciclável (70%)
- Modo pedonal (20%) + Modo ciclável (80%)