

**Análise multicritério espacial aplicada à
avaliação do potencial de mobilidade suave**

O caso das cidades de encosta

Pollyanna Marsi de Lucena

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

Orientador: Prof. Doutora Bertha Maria Batista dos Santos

outubro de 2021

Folha em branco

Agradecimentos

Antes de tudo agradeço a Deus, que proporcionou que este sonho se tornasse realidade.

Agradeço ao meu marido Gil Menezes, com quem pude partilhar essa “aventura”, obrigada por ser sempre o meu principal incentivador, agradeço a sua paciência nos momentos difíceis e pela sua dedicação à nossa família.

Agradeço a Professora Bertha Santos que foi peça fundamental no desenvolvimento de cada parte deste trabalho, agradeço toda atenção, compreensão, paciência, confiança e disponibilidade despendidos ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço a minha família que mesmo distante sempre se fez presente, minhas irmãs, tia, mãe e sobrinhos.

Agradeço aos meus sogros, Edione e Neilton por apoiarem e possibilitarem este feito.

Agradeço aos colegas de curso, em especial a Andreia e o Sandro que me acompanharam neste percurso e que sempre se mostraram dispostos e disponíveis a ajudar.

Agradeço ao André Nogueira por ter partilhado a rede viária do concelho da Covilhã.

Agradeço ao Stefan Flugel que graciosamente cedeu os resultados do estudo sobre as velocidades desenvolvidas por bicicletas em função da inclinação da via.

Agradeço ao povo português que me acolheu tão bem neste país adorável.

Por fim agradeço a todos os amigos, professores e as demais pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que essa dissertação fosse concluída.

Folha em branco

Resumo

As consequências das alterações climáticas e os progressivos congestionamentos nos centros urbanos, resultantes do aumento da dependência do uso do automóvel, contribuem para a diminuição da qualidade de vida da população urbana. Para reverter esse quadro é necessária a atuação ativa do estado, devidamente enquadrada nas políticas de mobilidade internacionais. De entre as estratégias de promoção da mobilidade sustentável, o incentivo à utilização dos modos suaves de transporte nas deslocações diárias (pendulares), é uma das mais promissoras. Para adoção de medidas eficazes, é preciso identificar os principais fatores que propiciam a utilização destes modos de transporte e adequar os espaços urbanos de modo a minimizar as dificuldades existentes. Para o caso particular das cidades de encosta, este desafio é ainda mais complexo, pois a inclinação acentuada é um dos principais fatores que dificultam a incorporação da mobilidade suave pela população. A proposta deste estudo é oferecer ferramentas de apoio à decisão, possibilitando a identificação dos locais com potencial para a utilização dos modos suaves de transporte considerando as inclinações das vias. Para esta análise são consideradas como variáveis a localização dos polos geradores de viagens, a densidade populacional e as características da rede viária, como a inclinação longitudinal da via, a classificação viária e a existência de passeios. O tratamento, representação e análise destas variáveis é efetuado com recurso a um conjunto de ferramentas de geoprocessamento disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo a sua combinação através de uma análise multicritério espacial. Esta análise tem como objetivo obter um resultado que traduza o potencial da infraestrutura viária para a mobilidade pedonal e ciclável (para bicicletas tradicionais e bicicletas elétricas). A agregação dos resultados obtidos para os dois modos é posteriormente usado para definir uma medida de potencial de mobilidade suave das vias. Para a validação do estudo, a metodologia foi aplicada na cidade da Covilhã, que apresenta topografia com inclinações acentuadas. Com os resultados foi possível identificar os potenciais pedonal, ciclável e de mobilidade suave de cada via da área estudada. A análise destes resultados permitiram concluir que com a utilização da bicicleta elétrica há uma diminuição considerável das vias consideradas “sem potencial”, constatando que esta pode ser uma solução viável para a mobilidade suave nas cidades de encosta.

Palavras-chave

Mobilidade suave; modos ciclável e pedonal; análise multicritério espacial; SIG; análise de redes; cidades de encosta.

Folha em branco

Abstract

The consequences of climate change and the progressive congestion in urban centers, resulting from the increased dependence on car use, contribute to a decrease in the quality of life of the urban population. To reverse this situation, an active role of the state, properly framed in international mobility policies, is essential. Among the strategies to promote sustainable mobility, encouraging the use of soft modes of transport for daily commuting, is one of the most promising. To adopt effective measures, it is necessary to identify the main factors that favor the use of these modes of transport and adapt urban spaces in order to minimize the existing difficulties. For the particular case of hilly cities, this challenge is even more complex, as steep slopes are one of the main factors that hinder the incorporation of soft mobility by the population. The purpose of this study is to offer decision support tools for the identification of roads with potential for the use of soft modes of transport considering the network slopes. For this analysis, the location of the trip generation poles, the population density and road network characteristics, such as the road slope, the road classification and the existence of sidewalks, are considered as variables. The treatment, representation and analysis of these variables is carried out using a set of geoprocessing tools available in Geographic Information Systems (GIS), allowing their combination through a multi-criteria spatial analysis. This analysis aims to obtain a result that reflects the potential of road infrastructure for pedestrian and cycling mobility (for traditional bicycles and electric bicycles). The aggregation of the results obtained for the two modes is then used to define a measure of roads suitability for soft mobility. To validate the study, the methodology was applied to the urban perimeter of the hilly city of Covilhã. The results obtained allowed to identify the pedestrian, cycling and soft mobility potential for each road in the studied area. The analysis of these results permitted to conclude that a considerable reduction of the roads considered “without potential” is verified with the use of electric bikes, providing a viable solution for the implementation of soft mobility in hilly cities.

Keywords

Soft mobility; cycle and pedestrian modes; multicriteria spatial analysis; GIS; network analyst; hilly cities.

Folha em branco

Índice

Agradecimentos.....	iv
Resumo	vi
Abstract	ix
Índice	xii
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas.....	xx
Lista de Siglas e Acrónimos	xxiii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Estrutura da dissertação.....	5
Capítulo 2	7
Mobilidade Urbana Sustentável	7
2.1 Enquadramento	7
2.2 Modos suaves	8
2.2.1 Benefícios dos modos suaves	10
2.3 Modo pedonal	12
2.3.1 Rede pedonal	13
2.4 Modo ciclável.....	15
2.4.1 Rede ciclável	16
2.5 Índices de potencial ciclável/pedonal.....	20
2.6 Mobilidade suave nas cidades de encostas.....	23
Capítulo 3	28
Análise Multicritério Espacial	28
3.1 Definições.....	28
3.2 Análise multicritério espacial para apoio à decisão e os SIG	28
3.3 Métodos de Análise Multicritério (AMC)	31
3.3.1 Métodos de avaliação de pesos.....	32
<i>Método baseado no ordenamento de critérios</i>	32
<i>Método baseados em escalas de pontos</i>	33
<i>Método do Processo de Análise Hierárquica (PAH)</i>	33
3.3.2 Métodos de combinação de critérios	35
<i>Método da Combinação Linear Ponderada (CLP)</i>	35
<i>Método da Média Ponderada Ordenada (MPO)</i>	36

3.4 Métodos aplicados em SIG	37
3.4.1 Etapas da análise multicritério espacial	37
Capítulo 4	41
Metodologia	41
4.1 Introdução	41
4.2 Fase 1: Seleção das variáveis da análise e preparação dos dados	41
4.2.1 Polos geradores de viagens	42
4.2.2 Densidade populacional	42
4.2.3 Rede viária	43
4.3 Fase 2: Análise espacial, de redes e multicritério	43
4.4 Fase 3: Análise dos resultados	47
Capítulo 5	49
Caso de Estudo	49
5.1 Área de estudo	49
5.1.1 Território e população	49
5.1.2 Contexto histórico e de mobilidade	56
5.2 Aplicação da metodologia	58
5.2.1 Dados	58
5.2.2 Análise espacial inicial	68
<i>Preparação da rede</i>	68
5.2.3 Análise das áreas de influência	81
5.2.4 Análise Multicritério	90
5.2.5 Resultados e discussão	101
Capítulo 6	115
Conclusões e Trabalhos Futuros	115
Referências	119
Anexos	127

Folha em branco

Lista de Figuras

FIGURA 1. REPARTIÇÃO DA UTILIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MODOS DE TRANSPORTE NOS MOVIMENTOS PENDULARES (PORTUGAL) (FONTE: INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2011).....	9
FIGURA 2. EXEMPLO DE PASSEIO DIVIDIDO ENTRE ZONA DE MOBILIÁRIO URBANO E ZONA LIVRE (FONTE: AUSTROADS, 2017).....	14
FIGURA 3. EXEMPLO DE PASSEIO DIVIDIDO ENTRE ZONA DE MOBILIÁRIO URBANO, ZONA DE REFEIÇÕES E ZONA LIVRE (FONTE: AUSTROADS, 2017).	14
FIGURA 4. ESPAÇOS MÍNIMOS DE MANOBRA PARA CICLISTAS (FONTE: IMTT - INSTITUTO DA MOBILIDADE E DOS TRANSPORTES TERRESTRES, 2011B).	18
FIGURA 5. FAIXA CICLÁVEL (FONTE: LIESWYN, ET AL., 2012).....	18
FIGURA 6. PISTA CICLÁVEL (FONTE: LIESWYN, ET AL., 2012).	19
FIGURA 7. ESTRADAS COMPARTILHADAS (FONTE: SUSTRANS DESIGN MANUAL, 2014).....	19
FIGURA 8. VELOCIDADES DE CICLISMO (ADAPTADO DE: FLUGEL, HULLEBERG, FYHRI, WEBER, & ÆVARSSON, 2019).....	25
FIGURA 9. ESQUEMA GERAL DE MÉTODOS MULTICRITÉRIO DISCRETOS (A) E CONTÍNUOS (B) (FONTE: CHAKHAR & MOUSSEAU, 2008).	31
FIGURA 10. ESCALA DE PONTOS.....	33
FIGURA 11. ESTRUTURA TÍPICA DE PAH PARA UM PROBLEMA DE DECISÃO (FONTE: DEAN, 2020).....	34
FIGURA 12. ESPAÇO ESTRATÉGICO DE DECISÃO MPO (FONTE: RAMOS, 2000).....	36
FIGURA 13. ESQUEMA GERAL DA APLICAÇÃO DA ADMC.....	38
FIGURA 14. FLUXOGRAMA DETALHADO DA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE.....	48
FIGURA 15. FREGUESIAS DO CONCELHO DA COVILHÃ ANTES DA REORGANIZAÇÃO ADMINISTRATIVA DE 2013.	50
FIGURA 16. FREGUESIAS DO PERÍMETRO URBANO DO CONCELHO DA COVILHÃ ANTES DA REORGANIZAÇÃO ADMINISTRATIVA DE 2013.	51
FIGURA 17. FREGUESIAS DO CONCELHO DA COVILHÃ DEPOIS DA REORGANIZAÇÃO ADMINISTRATIVA DE 2013.	52
FIGURA 18. FREGUESIAS DO PERÍMETRO URBANO DO CONCELHO DA COVILHÃ DEPOIS DA REORGANIZAÇÃO ADMINISTRATIVA DE 2013.	53

FIGURA 19. DENSIDADE POPULACIONAL DO CONCELHO DA COVILHÃ POR FREGUESIA (HAB./KM ²).	54
FIGURA 20. DENSIDADE POPULACIONAL DO CONCELHO DA COVILHÃ POR SUBSECÇÃO ESTATÍSTICA (HAB./HA).	55
FIGURA 21. DISTRIBUIÇÃO ETÁRIA DOS HABITANTES DO CONCELHO DA COVILHÃ (2011).	56
FIGURA 22. PROPORÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE CADA MODO DE TRANSPORTE NOS MOVIMENTOS PENDULARES NO CONCELHO DA COVILHÃ E A NÍVEL NACIONAL (INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2011).	57
FIGURA 23. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS LOCALIZADOS NO PERÍMETRO URBANO DO CONCELHO DA COVILHÃ, POR CATEGORIAS.	61
FIGURA 24. EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA COMÉRCIO EXISTENTES NO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	62
FIGURA 25. EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA EDUCAÇÃO EXISTENTES NO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	62
FIGURA 26. EQUIPAMENTOS DAS CATEGORIAS TURISMO E TRANSPORTES EXISTENTES NO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	63
FIGURA 27. EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA LAZER EXISTENTES NO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	63
FIGURA 28. EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA SERVIÇOS EXISTENTES NO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	64
FIGURA 29. EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA SAÚDE EXISTENTES NO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	64
FIGURA 30. DENSIDADE POPULACIONAL NO PERÍMETRO URBANO DO CONCELHO DA COVILHÃ POR SUBSECÇÃO ESTATÍSTICA (HAB./HA).	65
FIGURA 31. MAPA DA REDE VIÁRIA DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ E RESPECTIVA HIERARQUIZAÇÃO.	67
FIGURA 32. MAPA DA REDE PEDONAL DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ COM A LOCALIZAÇÃO DOS PASSEIOS.	68
FIGURA 33. MAPA DA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A LOCALIZAÇÃO DOS PASSEIOS, A CONCENTRAÇÃO DA POPULAÇÃO RESIDENTE E A LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS (POLOS GERADORES DE VIAGENS) NO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	69
FIGURA 34. MAPA DE INCLINAÇÕES DA REDE PEDONAL.	70
FIGURA 35. MAPA DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS NOS TRAJETOS ASCENDENTES UTILIZANDO O MODO PEDONAL.	72

FIGURA 36. MAPA DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS NOS TRAJETOS DESCENDENTES UTILIZANDO O MODO PEDONAL.....	73
FIGURA 37. PROJETO DE REDE CICLÁVEL DA CÂMARA MUNICIPAL DA COVILHÃ (ADAPTADO DE: CÂMARA MUNICIPAL DA COVILHÃ, 2017).....	74
FIGURA 38. GRÁFICO COM RESULTADOS DE VELOCIDADE E LINHA DE TENDÊNCIA PARA BICICLETAS TRADICIONAIS.....	76
FIGURA 39. GRÁFICO COM RESULTADOS DE VELOCIDADE E LINHA DE TENDÊNCIA PARA E-BIKES.....	76
FIGURA 40. MAPA DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS NOS TRAJETOS ASCENDENTES UTILIZANDO BICICLETA TRADICIONAL.....	78
FIGURA 41. MAPA DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS NOS TRAJETOS DESCENDENTES UTILIZANDO BICICLETA TRADICIONAL.....	79
FIGURA 42. MAPA DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS NOS TRAJETOS ASCENDENTES UTILIZANDO BICICLETA ELÉTRICA.....	80
FIGURA 43. MAPA DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS NOS TRAJETOS DESCENDENTES UTILIZANDO BICICLETA ELÉTRICA.....	81
FIGURA 44. MAPA DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DE CIRCULAÇÃO PEDONAL EM FUNÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO PARA OS EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA EDUCAÇÃO.....	83
FIGURA 45. MAPA DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DE CIRCULAÇÃO COM BICICLETA TRADICIONAL EM FUNÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO PARA OS EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA EDUCAÇÃO.....	84
FIGURA 46. MAPA DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DE CIRCULAÇÃO COM E-BIKES EM FUNÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO PARA OS EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA EDUCAÇÃO.....	85
FIGURA 47. MAPA DE PONTUAÇÕES PARA AS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA EDUCAÇÃO PARA A CIRCULAÇÃO PEDONAL.....	87
FIGURA 48. MAPA DE PONTUAÇÕES PARA AS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA EDUCAÇÃO PARA A CIRCULAÇÃO COM BICICLETAS TRADICIONAIS.....	88
FIGURA 49. MAPA DE PONTUAÇÕES PARA AS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS DA CATEGORIA EDUCAÇÃO PARA A CIRCULAÇÃO COM E-BIKES.....	89
FIGURA 50. MAPA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O CRITÉRIO 1 - LOCALIZAÇÃO DOS POLOS GERADORES DE VIAGEM, PARA A MODALIDADE PEDONAL (NÃO NORMALIZADO).....	92
FIGURA 51. MAPA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O CRITÉRIO 1 – LOCALIZAÇÃO DOS POLOS GERADORES DE VIAGENS PARA A MODALIDADE BICICLETA TRADICIONAL (NÃO NORMALIZADO).....	93
FIGURA 52. MAPA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O CRITÉRIO 1 - LOCALIZAÇÃO DOS POLOS GERADORES DE VIAGENS PARA A MODALIDADE E-BIKES (NÃO NORMALIZADO).....	94

FIGURA 53. MAPA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O CRITÉRIO 1 - LOCALIZAÇÃO DOS POLOS GERADORES DE VIAGEM, PARA A MODALIDADE PEDONAL (NORMALIZADO).	95
FIGURA 54. MAPA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O CRITÉRIO 1 – LOCALIZAÇÃO DOS POLOS GERADORES DE VIAGENS PARA A MODALIDADE BICICLETA TRADICIONAL (NORMALIZADO).	96
FIGURA 55. MAPA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O CRITÉRIO 1 - LOCALIZAÇÃO DOS POLOS GERADORES DE VIAGENS PARA A MODALIDADE E-BIKES (NORMALIZADO).	97
FIGURA 56. MAPA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA O CRITÉRIO DA DENSIDADE POPULACIONAL (NORMALIZADO).	98
FIGURA 57. MAPA DO POTENCIAL DA INFRAESTRUTURA PEDONAL DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ.	104
FIGURA 58. MAPA DO POTENCIAL DA INFRAESTRUTURA CICLÁVEL DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ PARA O USO DE BICICLETAS TRADICIONAIS.	105
FIGURA 59. MAPA DO POTENCIAL DA INFRAESTRUTURA CICLÁVEL DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ PARA O USO DE BICICLETAS ELÉTRICAS.	106
FIGURA 60. MAPA DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ A PARTIR DA COMBINAÇÃO ENTRE O MODO PEDONAL E O USO DE BICICLETA TRADICIONAL (1ª COMBINAÇÃO - 60%PED E 40%TRAD).	107
FIGURA 61. MAPA DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ A PARTIR DA COMBINAÇÃO ENTRE O MODO PEDONAL E O USO DE BICICLETA TRADICIONAL (2ª COMBINAÇÃO - 50%PED E 50%TRAD).	108
FIGURA 62. MAPA DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ A PARTIR DA COMBINAÇÃO ENTRE O MODO PEDONAL E O USO DE BICICLETA TRADICIONAL (3ª COMBINAÇÃO - 40%PED E 60%TRAD).	109
FIGURA 63. MAPA DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ A PARTIR DA COMBINAÇÃO ENTRE O MODO PEDONAL E O USO DE BICICLETAS ELÉTRICAS (1ª COMBINAÇÃO - 60%PED E 40%ELÉTR).	110
FIGURA 64. MAPA DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ A PARTIR DA COMBINAÇÃO ENTRE O MODO PEDONAL E O USO DE BICICLETAS ELÉTRICAS (2ª COMBINAÇÃO - 50%PED E 50%ELÉTR).	111
FIGURA 65. MAPA DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ A PARTIR DA COMBINAÇÃO ENTRE O MODO PEDONAL E O USO DE BICICLETAS ELÉTRICAS (3ª COMBINAÇÃO - 40%PED E 60%ELÉTR).	112

Folha em branco

Lista de Tabelas

TABELA 1. BENEFÍCIOS INDIVIDUAIS E COLETIVOS EM VIRTUDE DA UTILIZAÇÃO DOS MODOS SUAVES.....	11
TABELA 2. FATORES, INDICADORES E PARÂMETROS DAS CARACTERÍSTICAS URBANAS QUE INFLUENCIAM A UTILIZAÇÃO DA BICICLETA (FONTE: VALE, 2016).....	16
TABELA 3. ÍNDICES DE POTENCIAL PEDONAL (FONTE: LEFEBVRE-ROPARSA, MORENCYA, SINGLETONB, & CLIFTON, 2017; SAELENS, SALLIS, & FRANK, 2003; KOSCHINSKY, TALEN, ALFONZO, & LEE, 2017; KUZMYAK, BABER, & SAVORY, 2006; FREEMAN, ET AL., 2012; PORTA & RENNE, 2005; SINGLETON, SCHNEIDER, MUHS, & CLIFTON, 2014).....	21
TABELA 4. ÍNDICES DE POTENCIAL CICLÁVEL (FONTE: EMERY & CRUMP, 2003; TURNER, SHAFER, & STEWART, 1997; KRENN, OJA, & TITZE, 2015; JENSEN, 2007).....	22
TABELA 5. INCLINAÇÃO E EXTENSÃO MÁXIMA RECOMENDÁVEL PARA A UTILIZAÇÃO DA BICICLETA TRADICIONAL (FONTE: AASHTO, 1999; GENERALITAT DE CATALUNYA, 2008;).....	24
TABELA 6. VELOCIDADE PEDONAL EM FUNÇÃO DA INCLINAÇÃO DO PERCURSO DE ACORDO COM O MODELO TOBLER’S HIKING FUNCTION.....	26
TABELA 7. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DAS CATEGORIAS COMÉRCIO, EDUCAÇÃO, TURISMO E TRANSPORTES.....	59
TABELA 8. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DAS CATEGORIAS LAZER, SERVIÇOS E SAÚDE.....	60
TABELA 9. DISTRIBUIÇÃO DA EXTENSÃO DA REDE PEDONAL DO PERÍMETRO URBANO DO CONCELHO DA COVILHÃ, QUANTO À HIERARQUIZAÇÃO.....	66
TABELA 10. DISTRIBUIÇÃO DA EXTENSÃO REDE VIÁRIA DO PERÍMETRO URBANO DO CONCELHO DA COVILHÃ ANALISADA PARA O MODO CICLÁVEL, QUANTO À HIERARQUIZAÇÃO.....	66
TABELA 11. VELOCIDADE DOS ELEVADORES E FUNICULARES (FONTE: NOGUEIRA, 2020).....	71
TABELA 12. PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA ÀS ÁREAS DE SERVIÇO.....	86
TABELA 13. PESOS DOS SUBCRITÉRIOS DOS POLOS GERADORES PARA O MODO PEDONAL (NOGUEIRA, 2020).....	90
TABELA 14. PESOS DOS SUBCRITÉRIOS DOS POLOS GERADORES PARA O MODO CICLÁVEL (PASSOS, 2018).....	91
TABELA 15. QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DOS POTENCIAIS PEDONAL E CICLÁVEL DA REDE VIÁRIA E PEDONAL DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ (QUANTO À EXTENSÃO DA REDE).....	102

TABELA 16. QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE PEDONAL E DE BICICLETA TRADICIONAL DA REDE VIÁRIA E PEDONAL DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ (QUANTO À EXTENSÃO DA REDE).....	102
TABELA 17. QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DO POTENCIAL DE MOBILIDADE SUAVE PEDONAL E DE BICICLETA ELÉTRICA DA REDE VIÁRIA E PEDONAL DO PERÍMETRO URBANO DA COVILHÃ (QUANTO À EXTENSÃO DA REDE).....	103

Folha em branco

Lista de Siglas e Acrónimos

AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ADC – Águas da Covilhã

ADMC - *Análise de Decisão de Múltiplos Critérios*

AHP- *Analytic Hierarchy Process*

AMC - *Análise Multicritério*

APA – *Agência Portuguesa do Ambiente*

BGRI – *Base Geográfica de Referenciação de Informação*

BSE - *Beiras e Serra da Estrela*

CEDIR – *Centro de Diagnósticos*

CLP - *Combinação Linear Ponderada*

CMC – *Câmara Municipal da Covilhã*

CTT – *Correios de Portugal*

DL – *Decreto Lei*

DP – *Densidade Populacional*

Eletr. – *Elétrica*

ENMAC - *Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável*

ESRI - *Environmental Systems Research Institute*

ETRS89 – *European Terrestrial Reference System 1989*

EUA - *Estados Unidos da América*

GNR – *Guarda Nacional Republicana*

ha - *Hectare*

hab - *Habitante*

IEFP – *Instituto de Emprego e Formação Profissional*

IMT – *Instituto da Mobilidade e Transportes*

IMTT - *Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres*

INE – *Instituto Nacional de Estatística*

I.P. - *Instituto Público*

km – *Quilómetro*

MADA - *Multiattribute Decision Analysis*

MADM- *Multiattribute Decision Making*

MCDAd - *Multi-Criteria Decision Aid*

MCDM - *Multi-criteria Decision Making*

MDT – Modelo Digital do Terreno
MODA - *Multiobjective Decision Analysis*
MODM– *Multiobjective Decision Making*
MPO - Média Ponderada Ordenada
NUTs - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OECD - *Organization for Economic Co-operation and Development*
ONU - Organização das Nações Unidas
PAH- Processo de Análise Hierárquica
PAMUS - Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável
PCe- Potencial de Mobilidade bicicletas elétricas
PCt- Potencial de Mobilidade bicicletas tradicionais
Ped. – Pedonal
PEDU - Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano
PG – Polos Geradores
PMS - Potencial de Mobilidade Suave
PSP – Polícia de Segurança Pública
RC – Rede Ciclável
RP – Rede Pedonal
RV – Rede Viária
SIG – Sistemas de Informação Geográfica
TI – Transporte Individual
Trad.- Tradicional
UBI – Universidade da Beira Interior
UE – União Europeia
VAL – Via de Acesso Local
VC – Vias Coletoras
VDL – Via Distribuidora Local
VDP – Via Distribuidora Principal

Folha em branco

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Em todo o mundo, as pessoas estão constantemente se locomovendo, seja para ir e voltar do trabalho, escola ou universidade, ou para fazer compras, desenvolver atividades de lazer, usufruir de serviços e outras atividades.

Na Europa, 30% dos trajetos efetuados em automóvel particular destinam-se a percorrer distâncias inferiores a 3km, e 50% são inferiores a 5km. Os percursos com distâncias compreendidas nestes intervalos de valores podem ser feitos utilizando bicicletas ou caminhando, como alternativa ao uso do automóvel (Comissão Europeia, 2019) (OECD, 2004). Os holandeses consideram a utilização da bicicleta em trajetos pendulares até 7,5km, no caso de bicicletas tradicionais, e até 15km, considerando as bicicletas elétricas (e-bikes) (Schaap, Harms, & Kansen, 2016). Em 2011 cerca de 16% da população portuguesa utilizava o modo pedonal para os deslocamentos pendulares e apenas 0,5% da população utilizava a bicicleta como meio de transporte de forma regular (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011). Em uma sondagem mais recente, o Eurobarómetro Especial 495: Mobilidade e Transportes (2019), com cerca de mil portugueses entrevistados, indicou que cerca de 17% dos entrevistados utilizam o modo pedonal como principal modo de transporte e menos de 0,5% utilizam a bicicleta. A Covilhã, em 2011, registou uma utilização pedonal de 17% nas deslocações e a bicicleta foi usada em apenas 0,1% das movimentações diárias (Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2014).

No que respeita ao transporte motorizado, segundo a base de dados Pordata, no ano de 2018 verificou-se uma taxa de motorização de 528 veículos por cada 1000 habitantes na União Europeia e de 513 veículos por cada 1000 habitantes em Portugal (Pordata, 2018). Estes números têm crescido a cada ano contribuindo para o aumento das emissões de gases na atmosfera e para o congestionamento dos centros urbanos. Além disso, é preciso ter em consideração que os automóveis particulares não correspondem a um meio de transporte equitativo, pois mesmo em casas onde há automóveis, parte do agregado familiar pode não possuir carta de condução ou não ter acesso ao veículo.

Ainda, em um país em que a maioria da população ainda usa o automóvel particular para grande parte dos seus percursos, o setor dos transportes é responsável por cerca de 25% das emissões de gases com efeito de estufa (Pordata- Base de Dados Portugal Contemporâneo, 2018). Isto

contribui para as alterações climáticas do planeta, nomeadamente aos perigos decorrentes dos degelos, da subida das águas do mar, das secas prolongadas e do risco agravado de incêndios. Nas últimas duas décadas, a crescente preocupação com o ambiente e com a qualidade de vida têm conduzido à definição de políticas e estratégias de impulsão da mobilidade suave, o que se tem traduzido em um forte aumento no que diz respeito à promoção e construção de redes cicláveis e pedonais visando atingir a neutralidade carbónica.

Neste sentido, em 2015, a ONU aprovou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, incentivando os países a promover uma melhoria na qualidade de vida de sua população (United Nations, 2015). Esta Agenda compreende 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, entre estes, pelo menos 3 estão diretamente relacionados ao incentivo à utilização dos modos suaves de mobilidade. O terceiro objetivo apresentado pela Agenda corresponde a “Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”. É preciso considerar que a falta de atividade física pode acarretar impactos negativos na saúde. Além disso, a exposição à poluição atmosférica por partículas finas nas zonas urbanas também corresponde à principal causa ambiental de morte prematura. Todos os anos mais de 400 000 pessoas morrem prematuramente na UE devido à má qualidade do ar, e milhões sofrem de doenças respiratórias e cardiovasculares causadas pela poluição atmosférica (European Environment Agency, 2019). O décimo primeiro objetivo da Agenda é “Tornar as cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis”, sendo os congestionamentos de tráfego um dos exemplos que podem ser minimizados com a adoção de novas práticas de mobilidade urbana. O décimo terceiro objetivo da Agenda tem como princípio “Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos”, para isso faz-se necessário reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. Neste aspeto, a UE estabeleceu o compromisso de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20% até 2020 e em pelo menos 40% até 2030 (em relação aos níveis de 1990). A transferência de parte das viagens efetuadas em automóvel particular para os modos suaves contribui para a diminuição da parcela das emissões de gases com efeito de estufa dos veículos motorizados (Comissão Europeia, 2019).

Considerando os dados de transporte de várias cidades, chega-se à conclusão que a maneira de diminuir a dependência do automóvel particular, de modo a oferecer uma forma de transporte mais eficiente, equitativa e humana, é desenvolver políticas públicas orientadas para pedestres e ciclistas. Ou seja, adaptar as cidades para a utilização de bicicletas e propiciar bons espaços para caminhar pelas ruas, praças e espaços públicos. As cidades que não se adequam a estas necessidades encontram em geral, problemas económicos, sociais e ambientais significativos (Newman, 1996) (Mackett, 2003).

Para incentivar a população a valorizar e utilizar a bicicleta e a caminhada como meio de locomoção é necessário a atuação do Governo no sentido de favorecer e apoiar a adoção dos modos suaves nas deslocações diárias. Este objetivo pode ser alcançado através de uma política

integrada e sustentável para a mobilidade e transportes, priorizando a sustentabilidade e eficiência económica, ambiental e social (Neves, 2013).

Neste contexto, a Resolução do Conselho de Ministros n.º 131/2019 aprovou a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020-2030 (ENMAC 2020-2030), que tem como objetivo propiciar a utilização da bicicleta investindo na construção de ciclovias, estimulando desta forma adoção de hábitos de vida mais saudáveis. De entre as medidas propostas nesta resolução, planeou-se desenvolver uma proposta de Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Pedonal 2020-2030 que será concebida a partir de um grupo de trabalho coordenado pelo IMT, I. P., e constituído por representantes de outras áreas governativas de associações do setor. Esta iniciativa propicia a diminuição da utilização dos automóveis particulares no país, resultando em benefícios para a saúde das populações, diminuição dos congestionamentos urbanos e a redução da poluição atmosférica.

Alguns fatores podem contribuir de forma a incentivar ou dificultar a utilização dos modos suaves de locomoção. Precipitações elevadas, ventos fortes e temperaturas elevadas ou muito baixas correspondem a algumas das condições que podem dificultar a utilização destes modos. Portugal tem como característica um clima ameno na maior parte do ano, apresentando elevadas temperaturas apenas em alguns dias do ano, além disso, dispõe de dias mais longos no verão. No inverno, apesar das quedas na temperatura, apenas algumas cidades, em poucos dias do ano, apresentam queda de neve. Estes aspetos o tornam atrativo para a utilização da mobilidade ativa.

Outro parâmetro fundamental igualmente importante diz respeito ao relevo, nomeadamente no Norte e no Centro do país, onde se verifica o predomínio de montanhas. Inclinações acentuadas, superiores a 5%, implicam em maior esforço por parte dos peões ou ciclistas para realizar um percurso ascendente e podem ser perigosos em percursos descendentes, tornando-se um fator limitativo. Pode-se considerar que as inclinações ideais para a utilização da bicicleta são inferiores a 3% e de 5% para peões (AASHTO, 1999). Entretanto, esta questão não deve tornar-se um fator impeditivo ao uso destes modos, pois há diversos meios de contornar esta dificuldade. No caso dos peões, podem ser adotadas estratégias como escadas rolantes, pontes pedonais ou elevadores/funiculares. Assim como podem ser adotadas medidas para facilitar o trajeto de ciclistas, como a implantação de rampas, calhas ou auxílios mecânicos paralelos às escadarias para o transporte de bicicletas, além da utilização de bicicletas elétricas (e-bikes) (Vale, 2016).

Um estudo realizado na cidade de Portland, Oregon, EUA observou o comportamento de 164 ciclistas por vários dias e concluiu que planejar a rota para evitar inclinações pode ser tão ou mais importante do que construir ciclovias ou caminhos para os ciclistas. Quando a bicicleta é utilizada para movimentos pendulares, os ciclistas preferem percorrer distâncias maiores para evitar inclinações acima de 2% (Broach, Dill, & Gliebe, 2012). Os pedestres por sua vez, também buscam o conforto e facilidade nas superfícies de caminhada. Em áreas com morfologia acidentada, o limite de 8% pode se tornar uma dificuldade, resultando em uma deslocação mais lenta e exigindo maior esforço físico (Appolloni, Corazza, & D'Alessandro, 2019).

Embora as cidades com topografia declivosa apresentem uma dificuldade maior para aderir à utilização expressiva dos modos suaves, há exemplos de cidades que venceram este obstáculo e os têm utilizado de forma expressiva, como é o caso de Basileia, em que a utilização da bicicleta representa 23% de todas as deslocações, apesar da Suíça não ser um país plano. Berna, também na Suíça, em que muitas das ruas têm inclinações superiores a 7%, apresenta uma taxa de utilização da bicicleta de 15%. Em outros países, como a Noruega, na cidade de Trondheim a taxa de utilização da bicicleta chega a 8%. Esta cidade conta com o primeiro teleférico para ciclistas no mundo (Comissão Europeia, 2000).

Entretanto, reconhecer a importância das viagens feitas por pedestres e ciclistas não é suficiente para estimular a mobilidade suave, é preciso reorganizar o espaço urbano de modo que as cidades e as periferias sejam atrativas e seguras para estes utilizadores. Impulsionar a utilização das vias por pedestres e ciclistas, criando uma rede de mobilidade suave, pode contribuir para a requalificação de áreas urbanas, facilitando por exemplo, o acesso a equipamentos urbanos (universidades, hospitais, lazer, etc.), por diminuir o fluxo de veículos motorizados nestas áreas, e pode ainda intensificar o movimento de pessoas nestas áreas trazendo benefícios para o comércio local e o turismo urbano (Galderisi & Ceudech, 2010).

Diante do cenário exposto, verifica-se a necessidade de aderir aos modos suaves de mobilidade e a dificuldade da população das cidades de encosta em incorporar estas práticas, em particular nas deslocações diárias (pendulares). É fundamental identificar os locais com potencial e adequar os espaços urbanos de modo a minimizar as dificuldades existentes e promover a utilização destes modos de transporte.

Nestas situações em que o planeamento urbano é utilizado para analisar as redes viárias, é comum a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de modo a realizar análises espaciais com recurso a critérios múltiplos. A análise multicritério pode ser utilizada como ferramenta que permite avaliar um conjunto de critérios propostos. Esta análise gera uma classificação de alternativas que dependem dos critérios e pesos definidos pelo decisor e/ou painel de especialistas, explorando diversos resultados que permitam encontrar as melhores soluções baseadas nas condições definidas (Carver, 1991).

No caso particular da mobilidade suave, a análise multicritério espacial permite obter um resultado que traduz uma medida do potencial da infraestrutura da rede viária e pedonal existente para a circulação pedestre e/ou com recurso à bicicleta (Passos, 2018) (Nogueira, 2020), constituindo assim um instrumento valioso para a identificação de percursos e alocação de recursos.

1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é desenvolver uma metodologia que permita identificar as vias com maior potencial para atender às necessidades de peões e ciclistas que possa ser aplicada em cidades com orografia variada, em particular em cidades de encosta. Para isso, serão consideradas as características da infraestrutura viária e pedonal existente (classificação viária, inclinação longitudinal e existência de passeios), a densidade populacional e a localização dos principais polos geradores de viagens. No processo de criação do instrumento de apoio à decisão que permita determinar um índice de mobilidade suave que traduza o potencial da infraestrutura existente, será adotada uma análise multicritério espacial e serão utilizados como ferramentas os recursos disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica. As análises de rede serão efetuadas considerando como impedância o tempo de viagem, sendo este obtido em função da velocidade de deslocação definida pela inclinação das vias.

Identificar as vias que têm um elevado potencial pedonal e ciclável permite contribuir para o planeamento e gestão do espaço público de modo a incentivar a utilização dos modos suaves (pedonal e ciclável) como meio de transporte alternativo ao automóvel em trajetos curtos. Isto propicia uma melhoria na mobilidade urbana, estimula práticas que conduzem a uma vida saudável e diminui as emissões de carbono na atmosfera.

Esta metodologia será aplicada para validação na área correspondente ao perímetro urbano da cidade de encosta da Covilhã, avaliando o potencial da infraestrutura da rede viária e pedonal existente.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos, descritos em seguida.

Neste, que é o Capítulo 1, é apresentado o enquadramento do tema, em que se refere a importância de desenvolver o tema da promoção da mobilidade suave das cidades, seguido da apresentação do objetivo do estudo e da estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 discorre sobre o tema da mobilidade urbana sustentável. Apresenta os principais conceitos relacionados com a temática abordada, indica os benefícios da utilização destes modos de transporte, as características da rede pedonal e ciclável que estimulam sua utilização e as dificuldades para a aplicação destes modos em cidades de encosta.

O Capítulo 3 é referente à análise multicritério espacial. Neste capítulo são apresentados os principais conceitos referentes aos termos utilizados no âmbito das análises multicritério. Trata ainda da sua utilização associada aos SIGs. Descreve os métodos de avaliação de pesos e de combinação de critérios mais utilizados e apresenta a sequência de etapas que pode ser utilizada para aplicação de uma análise multicritério espacial.

No Capítulo 4 é apresentada a metodologia proposta para avaliação do potencial de mobilidade suave das vias de redes viárias e pedonais, descrevendo as principais etapas realizadas e sua ilustração através de fluxogramas.

No capítulo 5, Caso de Estudo, é apresentada a área de estudo com uma breve descrição sobre o território, a população e o contexto histórico. Em seguida é feita a aplicação da metodologia com a indicação dos dados utilizados, dos procedimentos realizados e dos resultados obtidos. Conta ainda com os mapas finais das análises efetuadas e uma discussão de resultados.

Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e a sugestão de trabalhos futuros para dar continuidade ao presente estudo.

Capítulo 2

Mobilidade Urbana Sustentável

2.1 Enquadramento

A mobilidade urbana pode ser entendida como o modo e a frequência das deslocações das pessoas para realizar suas atividades diárias (APA - Agência Portuguesa do Ambiente, 2010). Este conceito pode ainda abranger tanto o transporte de pessoas quanto o de bens. No caso da deslocação de pessoas, diz respeito às viagens realizadas com o objetivo de exercer as mais diversas atividades como trabalhar, estudar, desenvolver atividades de lazer, compras, etc.. Quando se trata do transporte de mercadorias inclui a distribuição da matéria prima, processamento, venda, descarte, etc. (Euroforum, 2007).

A mobilidade urbana compreende fatores que estão associados à dimensão do espaço urbano, à disponibilidade de transportes públicos e às atividades desenvolvidas pela população local. Esta concepção busca não apenas mais opções de locomoção, mas também uma melhor mobilidade, contribuindo para a qualidade de vida urbana, inclusão social, progresso da economia nos centros urbanos e um melhor aproveitamento dos recursos naturais (Ruxa, 2013).

A atual mobilidade urbana tem sido marcada pela deslocação motorizada e pela utilização crescente do transporte individual, que são fatores preocupantes para a organização das cidades. A dispersão urbanística residencial e a descentralização das atividades e serviços têm sido determinantes no funcionamento e planeamento das cidades, exigindo a elaboração de propostas que associem a gestão urbana com a gestão de transportes, com o intuito de repensar a mobilidade (Rolo, 2011).

No atual contexto da mobilidade urbana, o automóvel tem uma posição de destaque, sendo considerado o símbolo máximo de liberdade, pois é visto como um transporte mais confortável e flexível às necessidades do utilizador quando comparado com o transporte coletivo público. Este último, em cidades de baixa densidade populacional, configura-se incapaz de atender a demanda do meio urbano. Desta maneira, o automóvel tomou a frente de todos os meios de transporte e passou a ser uma escolha generalizada da população, comprometendo o funcionamento do sistema viário urbano e impondo a necessidade de construção de novas infraestruturas rodoviárias. Estas novas infraestruturas raramente resolvem efetivamente os estrangulamentos, pois na verdade apenas adiam no tempo o problema (Silva A. U., 2017).

O setor dos transportes está diretamente associado ao aumento das emissões de gases com efeito de estufa, aos crescentes congestionamentos de tráfego, poluição sonora, acidentes e uso de energia não renovável, contribuindo para a diminuição da qualidade de vida no ambiente citadino e tornando evidente a insustentabilidade da forma de locomoção atual (APA - Agência Portuguesa do Ambiente, 2010). Os problemas associados à mobilidade urbana ultrapassam o domínio dos transportes e confirmam a necessidade de considerar os âmbitos económico, sociais e ambientais nas estratégias de intervenção. A solução eficaz para este problema deve garantir o desenvolvimento equilibrado sem comprometer a mobilidade das pessoas.

A aplicação do conceito de sustentabilidade à mobilidade urbana relaciona as necessidades de deslocação das pessoas com a utilização de modos de transporte mais sustentáveis e menos agressivos para o ambiente, como o pedonal, o uso da bicicleta, dos transportes públicos coletivos e dos veículos automóveis híbridos ou a hidrogénio (APA - Agência Portuguesa do Ambiente, 2010). Sendo assim, é preciso planear a estrutura viária de modo a criar condições que permitam a coexistência de diversos modos de transporte, assegurando a acessibilidade multimodal, que cumpra os requisitos técnicos e de desenho urbano e que atenda às necessidades dos utentes mais vulneráveis, nomeadamente dos peões e dos ciclistas.

Tendo em vista a sustentabilidade da mobilidade urbana é preciso valorizar os modos suaves de deslocação, melhorar a atratividade do transporte coletivo, diminuir a utilização do transporte motorizado individual e, sobretudo, garantir a segurança das deslocações. Desta forma, o desafio de promover a mobilidade sustentável nas cidades envolve planear o sistema de transportes de modo a torná-lo mais acessível a toda população e apoiar políticas urbanas que favoreçam os modos suaves.

2.2 Modos suaves

O cenário atual da mobilidade têm salientado a importância dos modos suaves, que correspondem aos modos de transporte de velocidade reduzida, que ocupam pouco espaço na via pública e sem emissões de gases para a atmosfera, nomeadamente o “andar a pé” e o uso da bicicleta, skate, patins em linha e outros modos congéneres (Aziz, et al., 2018) (APA - Agência Portuguesa do Ambiente, 2010). Apesar de incluir várias outras alternativas, o foco principal dos modos suaves são as deslocações a pé e em bicicleta, por serem modos mais populares e usuais. Estas alternativas representam uma mobilidade mais sustentável, pois contribuem para a redução dos impactos negativos dos transportes e ainda favorecem o bem-estar e a saúde dos cidadãos (IMTT- Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, 2011). Os modos suaves podem ainda assumir outras designações como: modos de transporte não motorizados, modos verdes, transportes ativos, modos saudáveis, modos lentos ou modos de transporte de propulsão humana (APA - Agência Portuguesa do Ambiente, 2010).

Por outro lado, a utilização massificada do automóvel durante as últimas décadas provocaram o remodelamento dos centros urbanos para atender às imposições do aumento do tráfego. Desta maneira, os peões e ciclistas perderam espaço nas vias públicas e as condições para a utilização dos modos suaves deterioraram-se. A dispersão urbana, a segregação do uso do solo e a falta de políticas que beneficiassem os modos suaves resultaram na redução das deslocações a pé e no enfraquecimento do uso das bicicletas (IMTT- Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, 2011).

Esta supremacia do modo individual de transporte para as deslocações pendulares está representada na Figura 1, onde se pode verificar a forte utilização do transporte individual motorizado (automóvel ou motociclo) que domina majoritariamente os deslocamentos no país, representando mais de 60% das viagens em todo o território. Na região centro este modo detém uma predominância de mais de 70% das viagens, configurando-se a maior taxa do país. Outra questão a ser destacada é a fraca utilização da bicicleta em todas as regiões do país, evidenciando a necessidade de explorar e promover este modo de transporte com o intuito de diminuir o uso do transporte individual (TI). É ainda possível observar que em regiões como a grande Lisboa, que conta com uma vasta opção de transportes coletivos, a representatividade do uso do TI é menor quando comparada com as demais regiões, que em geral não contam com a disponibilidade variada e significativa de transportes coletivos. O apoio à utilização dos modos suaves de transporte constitui assim uma medida com potencial tendo em vista a diminuição do uso do TI.

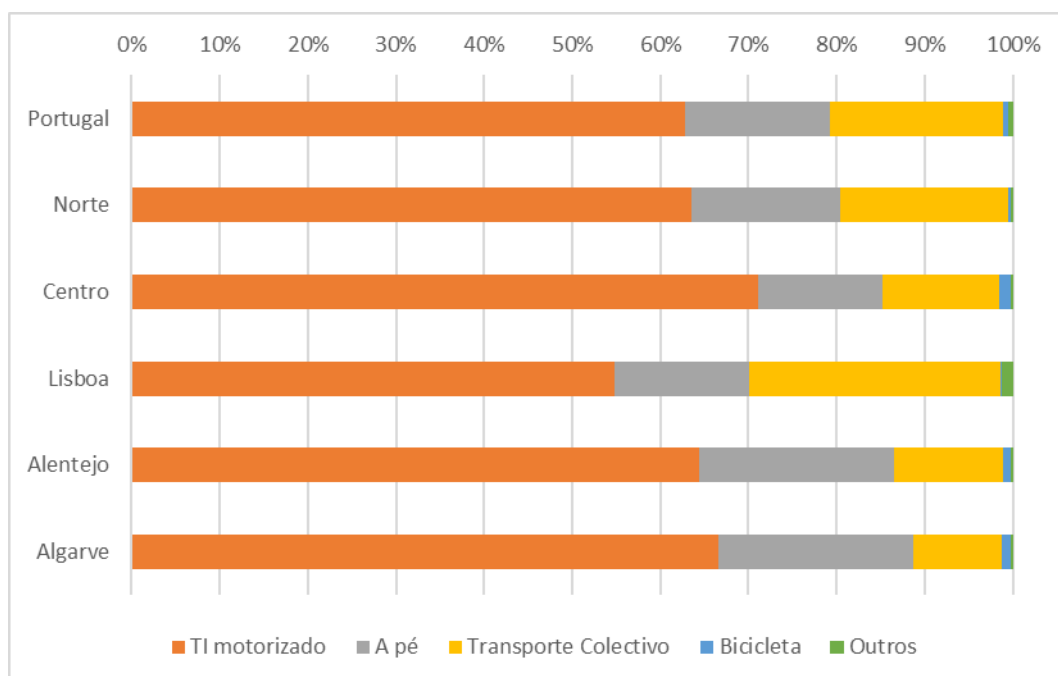


Figura 1. Repartição da utilização dos principais modos de transporte nos movimentos pendulares (Portugal) (Fonte: INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011).

A mobilidade suave pode ser considerada um elemento central na deslocação quotidiana, pois todas as deslocações se iniciam e finalizam com recurso a um modo suave, seja para realizar o trajeto até paragens de transportes públicos ou até parques de estacionamento. No entanto, a mobilidade suave não pode ser considerada apenas como uma extensão intermodal entre os transportes motorizados, ela deve ser vista como uma alternativa para o deslocamento e pode ainda desempenhar a função de lazer e de exercício físico (Vaudano, 2017). Os modos suaves, tanto para a realização de viagens curtas, como para complemento ao transporte público, necessitam de um planeamento que priorize o acesso e a segurança de peões e ciclistas. A integração das redes de transporte público com as redes de modos suaves constitui assim uma medida essencial para a promoção de uma mobilidade urbana mais sustentável (TR EN MO - Transportes, Engenharia, Modelação S.A., 2016).

Alguns fatores e características urbanas podem influenciar as pessoas a optarem pela utilização dos modos suaves de transportes. É importante que a cidade seja convidativa à caminhada e ao uso da bicicleta, o que remete diretamente às temáticas do desenho urbano, da acessibilidade e da segurança.

As condições de acessibilidade estão diretamente relacionadas com características do ambiente urbano como a largura adequada de passeios, existência de ciclovias e outras facilidades para a deslocação de peões e ciclistas. A densidade populacional e a oferta de empregos também influenciam o uso dos modos suaves, pois a proximidade entre a moradia e o trabalho reduz a necessidade de grandes deslocações pendulares. Além disso, a promoção de um uso misto do solo pode revelar-se importante, pois para além de gerar trabalho, dá resposta a outras necessidades como as de comércio, serviços de saúde e educação, próximos das residências, reduzindo o uso dos automóveis (Azevedo, 2017).

2.2.1 Benefícios dos modos suaves

A integração dos modos suaves no sistema de mobilidade de uma cidade produz benefícios individuais (para o utilizador dos modos suaves) e benefícios coletivos (para a comunidade local em geral). A Tabela 1 apresenta alguns destes benefícios.

Tabela 1. Benefícios individuais e coletivos em virtude da utilização dos modos suaves
(Fonte: APA - Agência Portuguesa do Ambiente, 2010; Comissão Europeia, 2000; IMTT- Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, 2011; Southworth, 2005; Vale, 2016).

Benefícios Individuais	
Económico	<ul style="list-style-type: none"> • Redução das despesas médicas graças aos efeitos do exercício físico regular; • Diminuição da parte do orçamento familiar destinada ao automóvel.
Saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenção e mitigação de alguns impactos na saúde: obesidade, doenças cardiovasculares, prevenção da osteoporose, além da promoção da coordenação e autoestima; • Diminuição do sedentarismo; • Redução do estresse.
Qualidade de vida	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do ruído e da poluição; • Redução das horas perdidas nos congestionamentos.
Benefícios Coletivos	
Político	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da dependência energética; • Redução do espaço necessário para a circulação e estacionamento de veículos; • Atratividade e competitividade das comunidades locais.
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Democratização da mobilidade; • Melhor acessibilidade aos serviços urbanos (comércio, lazer, trabalho/escola); • Promoção da sociabilidade.
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da emissão de gases com efeito de estufa; • Poupança de recursos não renováveis; • Redução da poluição sonora.
Rodoviário	<ul style="list-style-type: none"> • Menor número de acidentes rodoviários (envolvendo veículos motorizados); • Redução do programa de novas infraestruturas rodoviárias; • Diminuição do congestionamento rodoviário.

2.3 Modo pedonal

Quase todas as deslocações têm início ou finalização com recurso ao modo pedonal, associado ou não com outros modos de transportes. As viagens pedonais constituem uma proporção significativa do total de viagens de curta distância e configuram o modo principal para trajetos com até 1,5 quilómetros. Distâncias maiores geralmente implicam na utilização de outra opção de transporte (TR EN MO - Transportes, Engenharia, Modelação S.A., 2016).

A Organização Mundial de Saúde elaborou um plano de ação global com o objetivo de incentivar a atividade física. Esta iniciativa tem o intuito de reduzir em 15% as atividades sedentárias até 2030 e sugere a caminhada como uma das medidas principais para promover estilos de vida mais saudáveis (World Health Organization, 2018). Estudos indicam que bairros mais acessíveis influenciam no aumento da atividade física, resultando na diminuição da obesidade, da depressão e do consumo de álcool e drogas, além de contribuir para uma maior sociabilidade gerando uma melhor qualidade de vida (Appolloni, Corazza, & D'Alessandro, 2019).

Para aferir a aptidão dos espaços urbanos para a adoção deste modo de transporte é usado o índice de caminhabilidade ou “walkability”, que pode ser definido como uma relação entre a habitabilidade do ambiente construído e os esforços para caminhar (Appolloni, Corazza, & D'Alessandro, 2019) (ver Expressão 1):

$$\text{Caminhabilidade} = \frac{\text{Habitabilidade do ambiente construído}}{\text{Esforços para caminhar}} \quad (1)$$

O numerador da expressão traduz os aspeto físicos, sociais, culturais, económico e demais características que contribuem para o bem-estar. Diz respeito à densidade populacional, design urbano, mitigação da poluição, gestão de resíduos, património cultural, estado de manutenção de prédios e bens públicos, acessibilidade para todos, lazer e opções de trânsito equitativas. O denominador representa quatro componentes principais associadas ao esforço para caminhar, nomeadamente: o tempo, a energia física, a energia mental e os riscos associados. O tempo refere-se à duração da caminhada até um determinado destino. As energias física e mental estão diretamente relacionadas às condições pessoais de saúde, idade e ao propósito da caminhada. E os riscos representam a incerteza, instabilidade e insegurança, como o tempo não planeado que é gasto em uma fila, passeios congestionados, condições meteorológicas adversas, etc. (Appolloni, Corazza, & D'Alessandro, 2019).

2.3.1 Rede pedonal

Uma rede pedonal é composta por passeios, travessias pedonais, rampas de acesso, praças, parques e outros espaços de lazer. A rede pedonal deve proporcionar segurança, conforto e eficiência para o peão, dispondo da largura útil adequada para a deslocação e realização de atividades pelos peões. Passeios com dimensões muito reduzidas provocam a caminhada ao longo da via, aumentando o conflito entre peões e os outros modos de transporte (TR EN MO - Transportes, Engenharia, Modelação S.A., 2016).

O conceito de “walkability” refere-se à capacidade da rede pedonal de uma cidade proporcionar conforto e segurança aos peões. Para isso é necessário que a rede verifique os seguintes aspetos (Southworth, 2005):

- Conectividade: fornecer acesso aos polos geradores de viagens através de um sistema interligado de passeios e outros caminhos para pedestres, minimizando a existência de barreiras significativas.
- Articulação com outros modos de transporte: sistema de autocarros urbanos, elétricos, metro ou trem dentro de um alcance razoável que permita o acesso de pedestres às zonas residenciais, serviços e zonas comerciais.
- Conforto: incluindo a largura do passeio, o tipo de revestimento e aspetos relacionados com o paisagismo, sinalização e iluminação.
- Segurança em relação ao tráfego automóvel: riscos de acidente minimizados/evitados.
- Segurança urbana: desenho urbano que desencoraje comportamentos de violência e crime.
- Acessibilidade: rotas projetadas de forma que sejam adequadas a todos os que circulam a pé, incluindo pessoas com mobilidade reduzida.
- Convívio: o espaço público deve ser agradável, permitindo a interação social entre as pessoas.

As áreas pedonais devem ser funcionais e permitir a realização de todo o tipo de movimentos com níveis de serviço adequados. É preciso que forneçam um caminho seguro e cómodo além de garantir a segurança, evitando que o peão recorra à área destinada aos veículos motorizados, a não ser nos locais próprios para o atravessamento das vias. Irregularidade do pavimento, ruas sem passeios ou com passeios muito estreitos, estacionamento em áreas que deveriam ser de uso exclusivo dos peões e excessivo volume de tráfego automóvel podem tornar as áreas perigosas e desestimular o modo pedonal (Simões, 2011).

A largura total do passeio pode ser dividida, em zona de mobiliário urbano, zona de refeições e zona livre, como pode ser observado nas Figuras 2 e 3. A zona de mobiliário urbano é composta por postes de sinalização e iluminação, vegetação suave, caixotes do lixo, etc.. A zona de refeição inclui as áreas destinadas às esplanadas dos cafés e restaurantes. E a zona livre corresponde ao

espaço de circulação. Este último deve estar reservado para utilização por pedestres e por pessoas com dispositivos de mobilidade como cadeira de rodas e andarilho (Austroads, 2017).

De acordo o Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de agosto (DL 163/2006), em Portugal a zona livre não deverá ter obstruções durante todo o trajeto e deverá dispor de uma largura livre mínima de 1,20m, com exceção das vias principais e vias distribuidoras, em que a largura livre não deverá ser inferior a 1,50m.

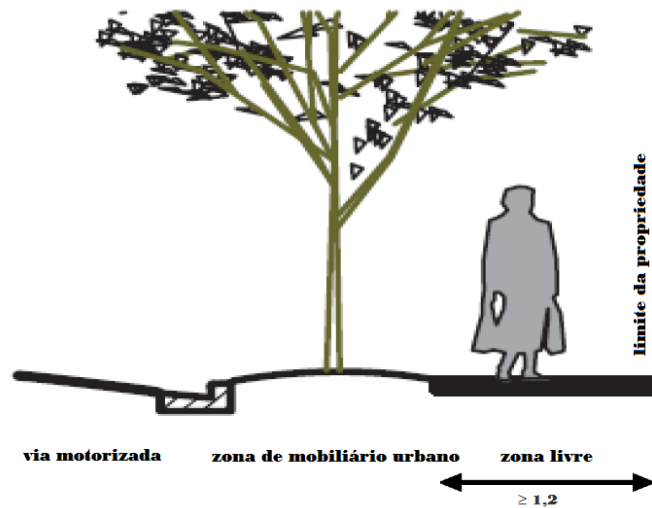


Figura 2. Exemplo de passeio dividido entre zona de mobiliário urbano e zona livre (Fonte: Austroads, 2017).

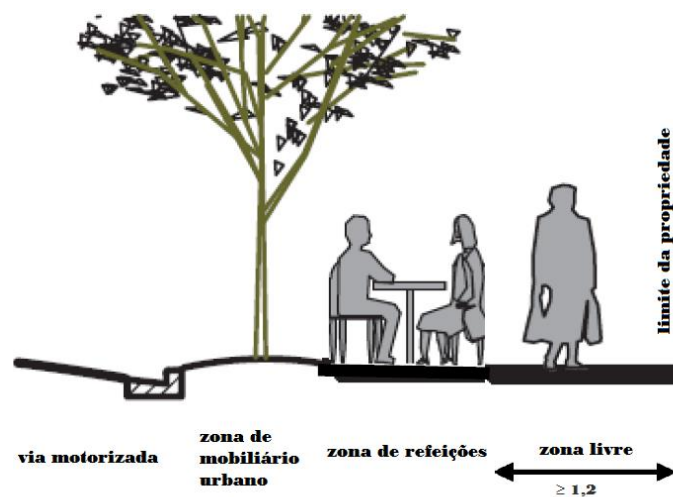


Figura 3. Exemplo de passeio dividido entre zona de mobiliário urbano, zona de refeições e zona livre (Fonte: Austroads, 2017).

A inclinação dos passeios também é um fator relevante na atratividade para a caminhada. A inclinação longitudinal deve acompanhar a via adjacente de forma contínua, entretanto inclinações superiores a 5% podem dificultar a subida, porque é necessária mais energia quando se sobe, e a descida, pois o controlo é mais difícil ao descer. A inclinação transversal dos trajetos dos peões não deverão ser superiores a 2,5%, pois podem se tornar obstáculos para pessoas com mobilidade reduzida, obrigando a esforço adicional incómodo (IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2020). Outra característica determinante para o conforto e segurança da deslocação do peão corresponde aos materiais de revestimento dos percursos pedonais. No planeamento dos passeios é importante adotar materiais não escorregadios, com rugosidade adequada, confortáveis ao uso, com estética apropriada, com boa durabilidade e com facilidade de limpeza e reparação (IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2020).

2.4 Modo ciclável

A bicicleta constitui o meio de transporte mais rápido para deslocações com até 5km de extensão, o que corresponde à distância percorrida na maioria das movimentações urbanas. No entanto, a bicicleta ainda é vista por grande parte da população como um veículo para a prática de desporto, de recreio ou lazer e não como um meio de transporte diário (Vale, 2016).

Diversos fatores estão envolvidos na decisão de utilizar a bicicleta para realizar as viagens pendulares, desde fatores relacionados com o utilizador, como ter uma bicicleta, a distância da viagem, o propósito do trajeto, a idade, a condição financeira, preocupações com a saúde e o meio ambiente, até fatores físicos como o clima e a topografia, e finalmente, fatores relacionados ao ambiente de transporte, como as condições de tráfego, riscos e a qualidade das ciclovias (Parkin, Ryley, & Jones, 2007).

O conceito de ciclabilidade ou “bikeability” pretende traduzir, geralmente com recurso a um índice, as condições de conforto, segurança e atratividade que as ruas podem oferecer aos ciclistas, ou seja, o quanto a área urbana está adequada para o uso das bicicletas (Grigore, 2018). As características mais significativas usadas para definir o índice de ciclabilidade de uma cidade correspondem aos atributos geométricos da infraestrutura viária ciclável, à presença de ciclovias separadas, áreas verdes, topografia e uso do solo compartilhado (Krenn, Oja, & Titze, 2015). Os principais fatores, indicadores e parâmetros das principais características urbanas utilizadas na determinação do índice de potencial ciclável são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores, indicadores e parâmetros das características urbanas que influenciam a utilização da bicicleta (Fonte: Vale, 2016).

Fator	Indicador	Parâmetro
Forma Urbana	Proximidade	<ul style="list-style-type: none"> • Distância • Dimensão da cidade • Uso misto do solo
	Conectividade	<ul style="list-style-type: none"> • Desenho da rede viária
Infraestruturas cicláveis	Extensão das ciclovias	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de ciclovias • Equipamentos e polos geradores de tráfego conectados por ciclovias
	Tipo de ciclovias	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de ciclovia adequado à velocidade de circulação na via • Controlo da velocidade de circulação do tráfego
	Rede viária ciclável	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas de acalmia de tráfego
Infraestruturas de apoio nos destinos	Estacionamento para bicicletas	<ul style="list-style-type: none"> • Adequado à área construída
	Equipamentos existentes nos edifícios	<ul style="list-style-type: none"> • Duches, balneários e cacifos

O uso misto do solo propicia a proximidade entre origens e destinos e conseqüentemente aumenta o potencial ciclável dos territórios. O planeamento adequado das infraestruturas cicláveis aumenta a segurança dos utilizadores e os equipamentos de apoio incentivam a escolha pelo modo ciclável.

2.4.1 Rede ciclável

Uma rede ciclável é composta por um conjunto de percursos de ligação e acessos orientados preferencialmente ou exclusivamente aos utilizadores da bicicleta. Assim como ocorre com a rede pedonal, a implementação de uma rede ciclável precisa garantir a segurança física dos

utilizadores, para isso é necessário assegurar o correto desenho dos traçados, gerir pontos de conflitos e conciliar a utilização do espaço urbano com outros modos de transporte (Silva A. U., 2017).

Para incentivar a utilização da bicicleta como modo de transporte pendular, a configuração da rede ciclável deve permitir a ligação entre as zonas residenciais e o centro urbano, garantindo acesso aos equipamentos escolares, desportivos e de lazer, polos de emprego, serviços e interfaces de transporte.

Para atender às necessidades dos ciclistas, o projeto de uma rede ciclável deve satisfazer alguns requisitos (Parkin, Ryley, & Jones, 2007):

- Rede abrangente: que compreenda os principais polos geradores de viagens.
- Sistema de conexões direta: que evita desvios.
- Atratividade: o design e a integração com o ambiente agradáveis para pedalar.
- Segurança: instalações que garantem a segurança dos usuários.
- Conforto: instalações que permitem um fluxo rápido e confortável do tráfego de bicicletas.

Para proporcionar segurança e conforto ao ciclista é necessário garantir o espaço necessário para o movimento. Velocidades elevadas (acima de 10km/h) e descidas obrigam ao aumento da largura da via para garantir a proteção dos ciclistas. A presença de objetos fixos ao longo do trajeto também requerem aumento da largura da via. A distância ao lancil deverá ser de 25 a 50cm (dependendo da altura do mesmo). Postes, sinalização vertical e outros objetos do género exigem uma distância de 75cm. Quanto a objetos fixos contínuos, como fachadas, paredes e muros é aconselhável reservar uma distância de 1 metro (IMTT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, 2011b). A Figura 4 ilustra o espaço mínimo de conforto para o ciclista.

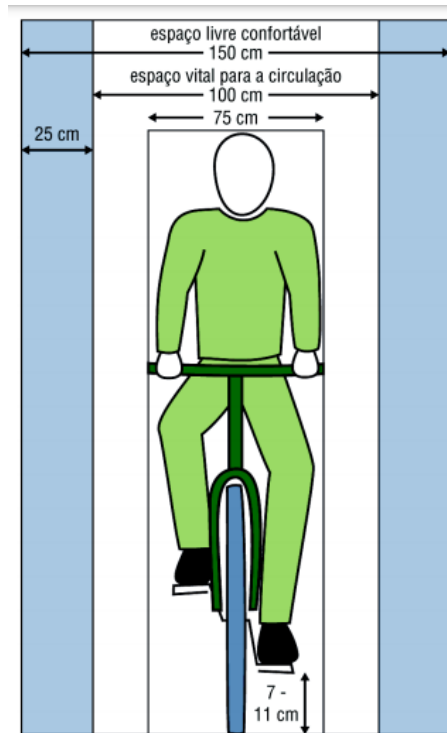


Figura 4. Espaços mínimos de manobra para ciclistas (Fonte: IMTT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, 2011b).

O planeamento das redes cicláveis deve se adequar a estas exigências utilizando algumas tipologias de percursos cicláveis como (IMTT- Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, 2011), (Vaudano, 2017):

- Faixa ciclável: espaço destinado à utilização da bicicleta em que não há separação física entre os canais rodoviários e cicláveis (figura 5). Pode ser de uso exclusivo de ciclistas, ou associada às vias dos transportes públicos, nomeadamente autocarros. A diferenciação na rede de trânsito é feita através da sinalização horizontal.

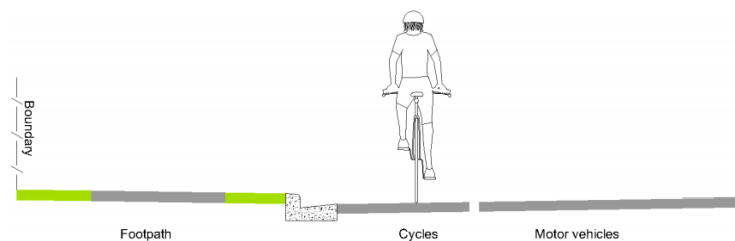


Figura 5. Faixa ciclável (Fonte: Lieswyn, et al., 2012).

- Pista ciclável: instalações cicláveis independentes da via rodoviária, ou seja, existe uma separação física do espaço rodoviário (Figura 6). Pode ser paralela à rede viária ou ter uma rota autónoma como é o caso das pistas cicláveis em áreas verdes. Pedestres, ciclistas e outros meios não motorizados podem compartilhar este espaço ou estarem segregados uns dos outros.

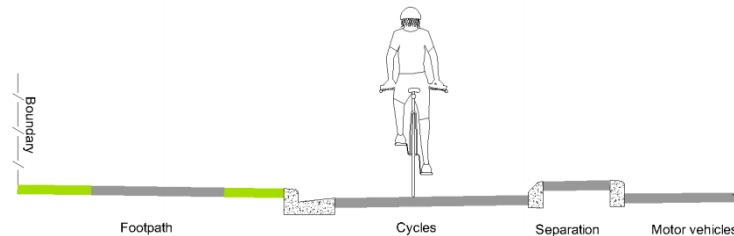


Figura 6. Pista ciclável (Fonte: Lieswyn, et al., 2012).

- Estradas compartilhadas: nestes casos a circulação de bicicletas ocorre em convivência com os demais utentes da via (figura 7). A prioridade nestas circunstâncias é dada aos utentes que praticam velocidades mais baixas.

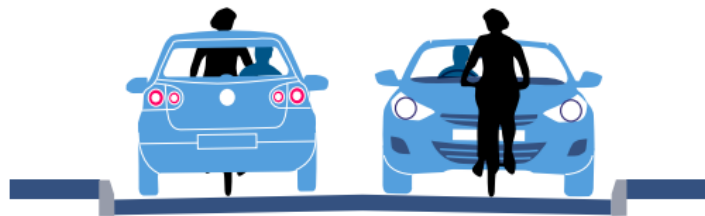


Figura 7. Estradas compartilhadas (Fonte: Sustrans Design Manual, 2014).

A escolha da melhor solução depende de estudos de planeamento específicos para cada local, de acordo com as características físicas, necessidades dos utilizadores, recursos disponíveis e tamanho da área urbana. Entretanto, existem parâmetros mínimos a ser observados de acordo com a velocidade e o volume de tráfego, o tipo de percurso ciclável, se o sentido é único ou duplo, entre outros aspetos.

2.5 Índices de potencial ciclável/pedonal

Os índices de potencial pedonal e índices de potencial ciclável são cálculos realizados com o objetivo de mensurar as facilidades e as dificuldades relacionadas com a implementação dos modos suaves de mobilidade. Estas avaliações são elaboradas considerando variáveis que podem ser agrupadas em 5 categorias: densidade populacional, diversidade do uso do solo, características da rede viária, localização dos polos geradores de viagens e extensão do percurso (Ewing & Cervero, 2010).

Algumas variáveis tendem a estar fortemente correlacionados entre si, o que leva alguns pesquisadores a omitir uma ou mais variáveis na busca por construir um modelo que retrate da melhor forma as condições reais. São vários os índices de transitabilidade que podem ser encontrados na literatura da especialidade. Estes são definidos de acordo com diferentes perspectivas, consoante a fundamentação teórica do método utilizado e da disponibilidade de dados (Lefebvre-Roparsa, Morency, Singleton, & Clifton, 2017). Nas tabelas 3 e 4 são apresentados alguns exemplos de índices de potencial pedonal e índices de potencial ciclável.

Tabela 3. Índices de Potencial Pedonal (Fonte: Lefebvre-Roparsa, Morency, Singleton, & Clifton, 2017; Saelens, Sallis, & Frank, 2003; Koschinsky, Talen, Alfonso, & Lee, 2017; Kuzmyak, Baber, & Savory, 2006; Freeman, et al., 2012; Porta & Renne, 2005; Singleton, Schneider, Muhs, & Clifton, 2014).

Índices de Potencial Pedonal		
Método	Crítérios	Autores
Índice de caminhabilidade (<i>Walkability Index</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade populacional • Conectividade • Combinação diversificada do uso do solo 	Saelens, Sallis, & Frank, 2003
Pontuação de caminhada (<i>Walk Score</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Serviços e oportunidades • Dimensão do quarteirão • Distribuição espacial entre os polos geradores de viagem 	Koschinsky, Talen, Alfonso, & Lee, 2017
<i>Índice de oportunidades de caminhada (Walk Opportunity Index)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desenho da rede viária (intersecções existentes) • Serviços e oportunidades 	Kuzmyak, Baber, & Savory, 2006
Escala de caminhabilidade (<i>Walkability Scale</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade residencial • Distribuição espacial entre os polos geradores de viagem • Articulação com outros modos de transporte • Combinação diversificada do uso do solo • Parcela de ambiente construído 	Freeman, et al., 2012
Acessibilidade pedonal (<i>Pedshed</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Combinação diversificada do uso do solo • Proporção de áreas abertas ao público • Segurança urbana • Desenho da rede viária (intersecções existentes) • Densidade de empregos • Número de edifícios 	Porta & Renne, 2005
Índice do ambiente pedonal (<i>Pedestrian Index of the Environment</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto • Densidade populacional • Dimensão do quarteirão • Articulação com outros modos de transporte • Serviços e oportunidades 	Singleton, Schneider, Muhs, & Clifton, 2014
Índice de qualidade do ambiente pedonal (<i>Pedestrian Environmental Quality Index - PEQI</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Condições de travessia pedonal • Características físicas dos passeios • Serviços e oportunidades • Intensidade do fluxo de veículos • Aspectos estéticos e de segurança da via 	Sousa, Santos, & Gonçalves, 2019
Potencial da infraestrutura pedonal	<ul style="list-style-type: none"> • Localização dos polos geradores de viagem • Densidade populacional • Velocidade do tráfego motorizado • Topografia 	Nogueira, 2020

Tabela 4. Índices de Potencial Ciclável (Fonte: Emery & Crump, 2003; Turner, Shafer, & Stewart, 1997; Krenn, Oja, & Titze, 2015; Jensen, 2007).

Índices de Potencial Ciclável		
Método	Crítérios	Autor
Avaliação da adequação da bicicleta (<i>Bicycle Suitability Assessment</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto • Volume e velocidade do tráfego motorizado 	Emery & Crump, 2003
Crítérios de adequação da bicicleta (<i>Bicycle Suitability Criteria</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto • Volume do tráfego motorizado • Limite de velocidade do tráfego motorizado 	Turner, Shafer, & Stewart, 1997
Índice de ciclabilidade (<i>Bikeability Index</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestrutura para ciclistas (dedicadas ou partilhadas com o tráfego automóvel) • Áreas verdes • Topografia 	Krenn, Oja, & Titze, 2015
Níveis de serviço da bicicleta (<i>Bicycle Level of Service</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto • Velocidade do tráfego motorizado • Volume do tráfego de pedestres e do tráfego motorizado (em vias compartilhadas) 	Jensen, 2007
Ciclabilidade em torno de uma área de desenvolvimento orientado para o trânsito (<i>Bikeability around a Transit-oriented development area</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Volume e velocidade do tráfego motorizado • Conectividade • Infraestrutura para ciclistas (dedicadas ou partilhadas com o tráfego automóvel) • Áreas verdes • Topografia 	Hartanto, 2017
Pontuação dos níveis de serviço da bicicleta (<i>Bicycle Level of Service Score</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Volume e velocidade do tráfego motorizado • Qualidade do pavimento • Topografia 	Lowry, Callister, Gresham, & Moore, 2012
Potencial da infraestrutura ciclável	<ul style="list-style-type: none"> • Localização dos polos geradores de viagem • Densidade populacional • Velocidade do tráfego motorizado • Topografia 	Passos, 2018

Alguns critérios considerados encorajam o uso dos modos suaves, enquanto outros são considerados obstáculos. Nos métodos apresentados para o modo pedonal pode-se perceber uma combinação de variáveis mais diversificada, alguns consideram as densidades populacionais, residenciais e de emprego, combinados ou não com as características físicas dos passeios, a topografia, os serviços e oportunidades disponíveis na região, a conectividade com outros modos de transporte, entre outros. Já os métodos para medir o potencial ciclável, utilizam indicadores mais recorrentes como condições do tráfego motorizado, características da infraestrutura e topografia.

Considerando a literatura existente, não parece haver um consenso sobre quais variáveis que devem ser incluídas nas análises.

2.6 Mobilidade suave nas cidades de encostas

O planeamento de uma rede de mobilidade suave deve considerar as condições e características do território afim de garantir certos parâmetros de qualidade. As características da rede viária, nomeadamente a inclinação das vias, constitui um fator determinante a ser considerado na escolha de soluções adequadas e que permitem a efetiva concretização de propostas de mobilidade suave em cidades de encosta.

A inclinação das vias pode se apresentar como um elemento limitativo quando superior a 5%. Enquanto as inclinações acentuadas no sentido ascendente exigem um maior esforço físico dos peões e ciclistas para manter a velocidade, as inclinações percorridas no sentido descendente podem ser perigosas por dificultar o equilíbrio, no caso dos peões, e por provocar aumento de velocidade, no caso dos ciclistas. No caso da utilização de bicicletas, a inclinação máxima aceitável está associada à extensão do percurso que se deseja efetuar, ou seja, no caso de trajetos curtos o esforço físico adicional para vencer uma determinada inclinação será realizado durante menos tempo, sendo considerado aceitável pelos ciclistas (Vale, 2016). Na tabela 5 pode ser observado a extensão máxima recomendada para cada valor de inclinação considerando percursos efetuados com recurso a bicicletas tradicionais.

Tabela 5. Inclinação e extensão máxima recomendável para a utilização da bicicleta tradicional
(Fonte: AASHTO, 1999; Generalitat de Catalunya, 2008;)

Inclinação (%)	Distância aceitável (m)
5-6	240
7	120
8	90
9	60
10	30
11+	15

Estes parâmetros são considerados nos percursos cicláveis para controlar a variação da velocidade dos ciclistas ao longo dos percursos. Os ciclistas iniciantes raramente circulam em ruas com inclinação superior a 8%. Com bicicletas tradicionais, nos aclives inferiores a 5%, os ciclistas apresentam uma velocidade média de circulação de 15km/h. Em aclives compreendidos entre 5% e 7% praticam velocidades médias de 12km/h. Para aclives entre 7% e 9% a velocidade média é próxima a 10km/h (Flugel, Hulleberg, Fyhri, Weber, & Evarsson, 2019).

Com a utilização de bicicletas elétricas (e-bikes), nos aclives inferiores a 5%, os ciclistas apresentam uma velocidade média de circulação de 17km/h. Em aclives entre 5% e 7% praticam velocidades médias de 15km/h. E para aclives entre 7% e 9% a velocidade média é próxima a 13km/h (Flugel, Hulleberg, Fyhri, Weber, & Evarsson, 2019). Na Figura 8 podem ser observadas as velocidades praticadas para diferentes inclinações das vias em uma comparação entre as bicicletas tradicionais e as e-bikes.

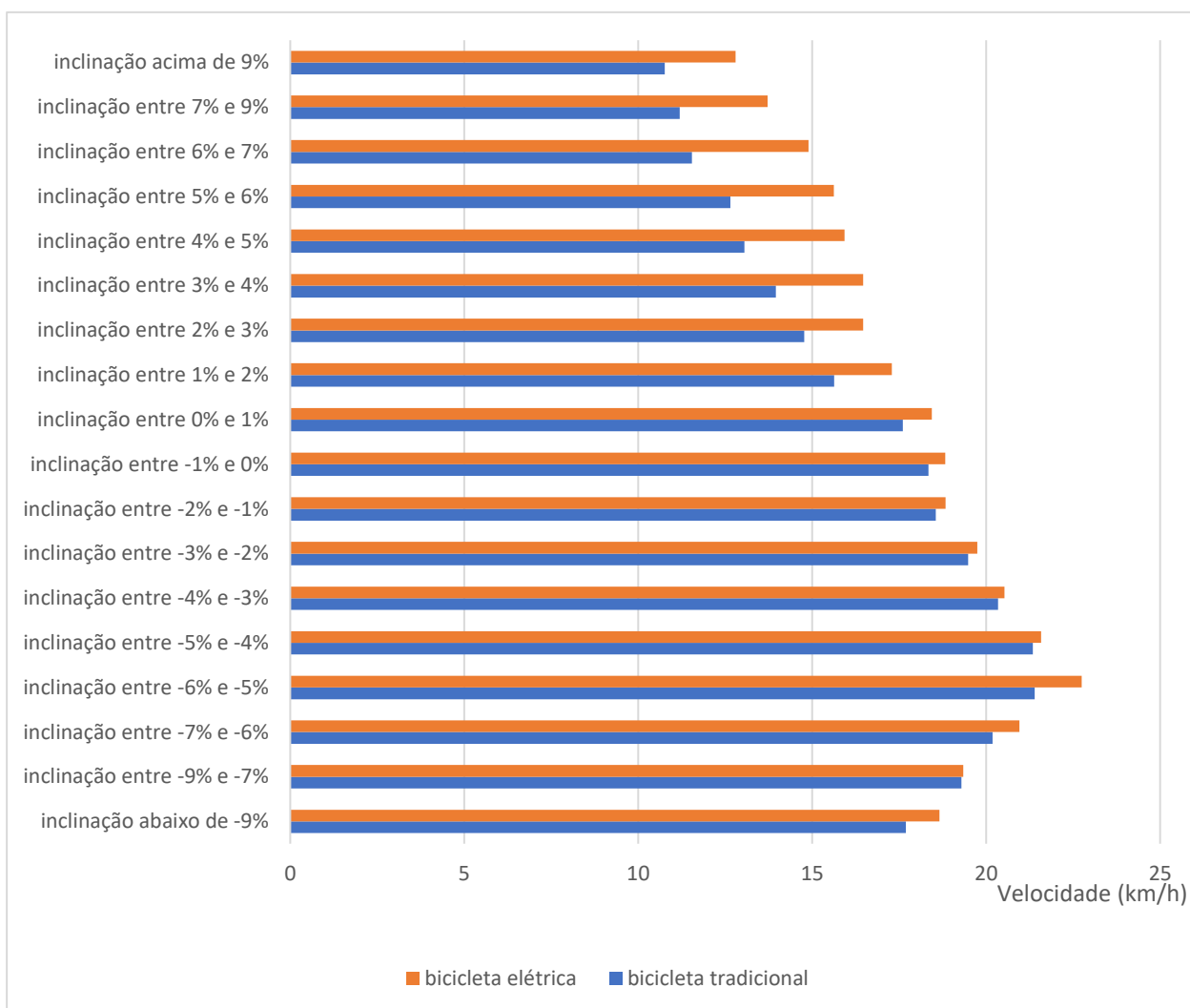


Figura 8. Velocidades de ciclismo (Adaptado de: Flugel, Hulleberg, Fyhri, Weber, & Ævarsson, 2019).

Pode-se perceber que as velocidades atingidas com bicicleta elétrica são superiores às atingidas com bicicletas tradicionais para todas as inclinações consideradas, entretanto para os percursos em subida essas diferenças são mais significativas. Isso pode ser explicado pela precaução dos ciclistas em acionar a frenagem na descida, quando as bicicletas atingem altas velocidades. Nos aclives, como esperado, há sempre uma diminuição da velocidade, para as bicicletas tradicionais com uma inclinação acima de 9%, os ciclistas pedalam 39% mais lentos do que em percursos planos (0% a 1%). Para bicicletas elétricas essa diminuição de velocidade é menor, cerca de 31%. Nas descidas é possível alcançar as velocidades mais elevadas, como pode ser observado nas inclinações entre -5 e -6% em que as bicicletas tradicionais chegam a 21,4km/h e as bicicletas elétricas a 22,7km/h.

No caso dos peões, de acordo com o modelo Tobler's Hiking Function proposto por Waldo Tobler em 1993, a velocidade média de circulação é de 4,2km/h em trajetos considerados planos, isto é, com menos 5% de inclinação. Essa velocidade média diminui de acordo com o aumento da inclinação. Para uma inclinação de 7% a velocidade média é de 4km/h e para inclinações de 10%

é de 3,6km/h. Este modelo permite determinar a velocidade pedonal com base na inclinação de um percurso. A velocidade é calculada pela Expressão 2 (Irtenkauf, 2014).

$$w = 6 \times e^{-3,5 \left| \frac{dh}{dx} + 0,05 \right|} \quad (2)$$

$$\frac{dh}{dx} = S = \tan \theta \quad (3)$$

Onde:

w é a velocidade pedonal em km/h.

dh é a diferença de elevação em metros.

dx é a distância em metros.

S é a inclinação em proporção.

θ representa o ângulo da inclinação em graus.

A Tabela 6 apresenta a variação da velocidade pedonal em função da inclinação do percurso segundo o modelo Tobler's Hiking Function.

Tabela 6. Velocidade pedonal em função da inclinação do percurso de acordo com o modelo Tobler's Hiking Function

Inclinação (%)	Velocidade (km/h)
Acima de 9	3,6
Entre 7 e 9	3,8
Entre 5 e 7	4,0
Entre 3 e 5	4,4
Entre 1 e 3	4,8
Abaixo de 1	5

Contudo, há diversas maneiras de contornar as limitações geradas pelas inclinações, tanto para peões quanto para ciclistas. No caso de zonas de inclinações acentuadas com curta extensão

podem ser implementadas soluções que permitam ir do ponto de cota mais baixa até o ponto de cota mais alta e vice-versa, através da implementação de (TR EN MO - Transportes, Engenharia, Modelação S.A., 2016)

- Escadarias planeadas de forma a oferecer conforto para todos os utentes: com dimensões adequadas, corrimão, e, para facilitar a sua utilização pelos ciclistas, com rampa ou calha que permita o transporte de bicicleta.
- Elevadores e rampas: estes equipamentos são fundamentais para abranger os utentes que têm dificuldades para utilizar as escadarias, como é o caso de pais com crianças pequenas, idosos e pessoas com dificuldades de locomoção. Para que os elevadores beneficiem outras modalidades de transporte é importante que estejam preparados para transportar bicicletas.
- Pontes pedonais: com dimensões adequadas para a circulação de ciclistas.

Para percursos maiores em que a declividade acentuada verificada em extensão dificulta a utilização dos modos suaves é possível adotar medidas como (Vale, 2016):

- Melhorar as condições de utilização dos transportes públicos, inclusive permitir a utilização destes para o transporte de bicicletas.
- Promover a utilização de bicicletas com motor elétrico, por meio de compartilhamento de bicicletas elétricas ou o incentivo à aquisição por meio de políticas públicas.

Com estas ações é possível vencer as características limitativas da utilização dos modos suaves em locais com inclinações acentuadas e promover a circulação de pedestres e ciclistas sem esforços exagerados, não permitindo que este seja um fator impeditivo da adoção de modos suaves nas cidades de encostas.

Capítulo 3

Análise Multicritério Espacial

3.1 Definições

De forma a clarificar o significado de um conjunto de termos usados no âmbito das análises multicritério, são apresentadas as seguintes definições (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1995):

- Decisão: corresponde a uma escolha entre um conjunto de alternativas propostas.
- Objetivo: o motivo da aplicação da regra de decisão.
- Critérios: são diretrizes utilizadas como base para tomar uma decisão. Podem se apresentar como fatores ou como restrições. O fator aumenta ou diminui a adequação da alternativa. A restrição limita as alternativas em consideração.
- Regra de decisão: combinação de critérios para chegar a uma avaliação particular. Podem ser adotadas regras de decisão do tipo função de escolha ou heurística de escolha. Na função de escolha a comparação das alternativas é feita baseada em modelos matemáticos, enquanto que a heurística de escolha indica um procedimento a ser seguido.
- Incerteza: corresponde às imperfeições existentes na base de dados e na regra de decisão. Podem ser originadas na medição ou na forma de combinação dos critérios.

3.2 Análise multicritério espacial para apoio à decisão e os SIG

Os sistemas de informação geográfica compreendem três campos de aplicação principais. O primeiro corresponde ao seu uso como base de dados de informações geográficas. O segundo engloba as relações lógicas e matemáticas existentes nas camadas de mapas que permitem a criação de novos mapas derivados. E por último, combinando as duas primeiras aplicações, têm-se um sistema de apoio à decisão, em que são realizadas escolhas de acordo com as análises produzidas, considerando diferentes situações, locais e elementos (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1995).

Estes sistemas de apoio à decisão baseiam-se, em geral, em análises multicritério. A análise multicritério pode ser definida como uma técnica de apoio à tomada de decisão por permitir a comparação de diferentes cenários com múltiplos critérios. O objetivo desta técnica é analisar as possibilidades consoante aos múltiplos critérios e objetivos, que podem ser conflitantes. O resultado é uma classificação das alternativas de acordo com sua adequação. De modo geral a AMC é utilizada para avaliar um pequeno número de alternativas com base em um número limitado de critérios. Para problemas com grande número de alternativas e critérios são utilizados métodos AMC modificados e automatizados (Carver, 1991).

A análise multicritério espacial corresponde à aplicação da análise multicritério a alternativas e critérios que apresentam dimensões espaciais (Chakhar & Mousseau, 2008). Desde a década de 80 do século XX que a análise multicritério tem sido combinada aos SIG para otimizar o processo de tomada de decisão.

Dentre os tipos de análises multicritérios destaca-se, pela sua utilização em problemas com componente espacial, a Análise de Decisão de Múltiplos Critérios (ADMC), que tem como objetivo principal auxiliar os tomadores de decisão a organizar e sintetizar as informações. Este recurso auxilia a estruturação do problema e proporciona decisões mais sustentadas, justificáveis e explicáveis, propiciando segurança na tomada de decisão e minimizando o risco e arrependimento pós-decisão por satisfazer os critérios considerados. A análise busca apoiar ou auxiliar na tomada de decisão e não determinar como as decisões "deveriam" ser tomadas (Belton & Stewart, 2002).

A técnica de ADMC pode se integrar ao SIG unindo os procedimentos para estruturar problemas e priorizar alternativas da ADMC à capacidade de armazenar, manipular, analisar e visualizar dados espaciais característicos do SIG. Desta maneira é possível combinar critérios geográficos e preferências dos tomadores de decisão de acordo com regras de decisão especificadas para a tomada de decisão (Afshari & Yusuff, 2012).

Segundo Malczewski (2006), os componentes do SIG usados nas abordagens da avaliação multicritério dividem-se em:

- Modelos de dados raster e vetoriais: as técnicas utilizadas podem se basear em dados raster, em dados vetoriais ou em uma combinação de dados raster e vetoriais.
- Critérios explícita ou implicitamente espaciais: correspondem às regras que embasam a tomada de decisão. Critérios explicitamente espaciais englobam características espaciais do local como tamanho, forma e densidade. Já os critérios implicitamente espaciais envolvem os dados espaciais como distância, acessibilidade ou elevação.
- Alternativas explícita ou implicitamente espaciais: as alternativas de decisão explicitamente espaciais incluem, por exemplo, locais alternativos para localização de instalações. No caso das alternativas de decisão implicitamente espaciais a implicação espacial está associada à implementação de uma decisão alternativa, como por exemplo, a implementação de uma solução específica para minimizar inundações.

Ao longo do tempo, os estudos conceptuais de ADMC se desenvolveram sob orientação de duas Escolas. A Escola Europeia originou a vertente de Apoio à Decisão Multicritério (Multi-Criteria Decision Aid– MCDAid) e a Escola Americana estruturou os estudos fazendo uso do termo Tomada de Decisão Multicritério (Multi-criteria Decision Making– MCDM) (Cardoso & Santos, 2017). O Apoio à Decisão Multicritério (MCDAid) e a Tomada de Decisão Multicritério (MCDM) auxiliam-se dos recursos matemáticos e das ferramentas computacionais para avaliar as alternativas de decisão de acordo com critérios estabelecidos pelo tomador de decisão (Behzadian, Otaghsara, Yazdani, & Ignatius, 2012).

A principal diferença entre as duas escolas pode ser definida como o limite da objetividade em que cada uma se embasa. O MCDM pretende obter uma solução ótima, ou seja, desenvolver um modelo matemático que seja capaz de chegar à melhor resposta para um dado problema. O MCDAid, por sua vez, se propõe a auxiliar na modelação e estruturação do contexto, facilitando a compreensão do problema. Este âmbito considera fatores subjetivos nos processos decisórios, o que limita a objetividade e impossibilita a fundamentação científica e objetiva para a decisão ótima. Neste método busca-se não “a melhor solução”, mas um conjunto de critérios que norteiam a escolha, de acordo com os fatores considerados mais relevantes pelo decisor (Dutra, 2003).

Segundo Malczewski (2006), quanto aos elementos da análise de decisão multicritério, podem-se ainda referir as seguintes divisões:

- Análise de decisão multiatributo (MADA – multi-attribute decision analysis) e multiobjetivo (MODA – multi-objective decision analysis): A análise multicritério pode ser classificada, de acordo com o domínio de alternativas, em discreta ou contínua. A análise discreta dispõe de um número limitado de alternativas pré-especificadas. Neste caso os critérios existentes correspondem a uma pontuação de acordo com as preferências do tomador de decisão, onde são atribuídos certos pesos, permitindo realizar uma comparação entre as diferentes alternativas. Este método também é conhecido como tomada de decisão com múltiplos atributos (MADM – multi-attribute decision making). O segundo método é denominado análise contínua ou tomada de decisão com múltiplos objetivos (MODM – multi-objective decision making), que corresponde a valores de decisão determinados em um domínio com um número grande ou infinito de escolhas. Neste cenário é definido um conjunto de restrições e um conjunto de funções objetivo onde as preferências do tomador de decisão são atribuídas na forma de pesos para funções objetivo diferentes, sendo indicado previamente a direção de otimização (Chakhar & Mousseau, 2008). A Figura 9 apresenta o esquema geral do procedimento a seguir nas análises discreta e contínua.

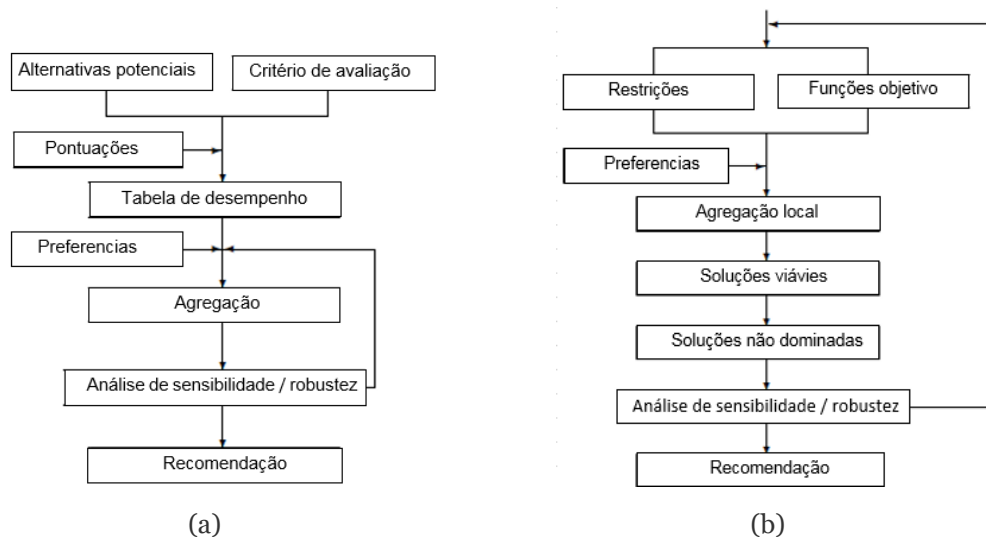


Figura 9. Esquema geral de métodos multicritério discretos (a) e contínuos (b) (Fonte: Chakhar & Mousseau, 2008).

- Tomada de decisão individual ou em grupo: quando o problema tem apenas uma estrutura de preferências, independentemente do número de pessoas envolvidas, corresponde a um problema com um único tomador de decisão. Quando os indivíduos (grupos de interesse) têm diferentes preferências, então trata-se de um problema de tomada de decisão em grupo.
- Decisões sob certeza e sob incerteza: esta categoria é embasada na quantidade de informações sobre as escolhas disponíveis. Quando o tomador de decisão tem conhecimento do ambiente de decisão é denominado como condições de certeza. Por outro lado, muitas decisões do mundo real envolvem questões desconhecidas ou difíceis de prever, este caso corresponde à tomada de decisão em condições de incerteza.

3.3 Métodos de Análise Multicritério (AMC)

A escolha dos métodos para definição dos pesos dos critérios e para combinar os critérios de avaliação configuram os principais desafios da aplicação da análise multicritério. Voogd (1982) explica a importância das prioridades atribuídas aos vários critérios. Estas prioridades podem ser abordadas como números quantitativos (pesos) ou através de expressões ordinais (ordenação). A determinação destas prioridades pode ser realizada por meio de:

- Análise de preferência: com a aplicação de um questionamento direto às pessoas, a fim de obter informações de preferências.
- Análise comportamental: toma em consideração o comportamento real das pessoas.

- Classificação hipotética: A análise das prioridades é feita com base na perspectiva de vários pontos de vista ou visões, como as orientações políticas, diferentes cenários, entre outros.

3.3.1 Métodos de avaliação de pesos

Os métodos de avaliação de pesos correspondem às técnicas de atribuição de pontuação a cada critério de acordo com a sua relevância. Os valores atribuídos a cada critério estão dentro de uma escala previamente definida, como por exemplo, uma escala entre 0 e 100. A revisão bibliográfica realizada evidenciou que as técnicas mais usuais para avaliação de pesos no processo de decisão da análise multicritério são os métodos baseados no ordenamento de critérios, em escala de pontos e o método AHP- Analytic Hierarchy Process (PAH- processo de análise hierárquica) (Chakhar & Mousseau, 2008) (Stillwell, Seaver, & Edwards, 1981) (Malczewski, 2004) (Dean, 2020). A decisão do tipo de método é determinante pois a utilização de métodos diferentes pode produzir resultados diferentes (Chakhar & Mousseau, 2008).

Em seguida são descritos os três métodos supracitados.

Método baseado no ordenamento de critérios

O método de ordenamento de critérios é de simples aplicação por consistir numa organização baseada na importância que o decisor atribui a cada critério. Em seguida para estabelecer os pesos podem ser utilizados os procedimentos de *rank sum* ou *rank reciprocal* (Stillwell, Seaver, & Edwards, 1981).

O método *rank sum* utiliza a ordem do rank (classificação). Neste caso os n critérios são classificados e ponderados através da Expressão 4:

$$w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum_{k=1}^n n - r_k + 1} \quad (4)$$

Onde:

w_j é o peso normalizado do critério j .

n é o número de critérios.

r_j representa a posição do critério j no ranking.

k é o número de ordem de cada um dos critérios considerados na análise.

r_k representa a ordem do critério k .

O *rank reciprocal* utiliza o inverso da ordem. Neste caso os pesos são calculados considerando a classificação do atributo (ver Expressão 5).

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum_k 1/r_k} \quad (5)$$

Método baseados em escalas de pontos

Este método foi desenvolvido inicialmente por Osgood, Suci, & Tannenbaum (1957) e consiste em utilizar uma escala com sete alternativas na qual o decisor escolhe um número dentro desta escala para indicar seu grau de preferência por determinado critério. O número sete para a quantidade de alternativas foi escolhido a partir de pesquisas realizadas pelos autores deste método que indicam que, com esta escala, todas as alternativas tendem a ser utilizadas de modo a indicar com maior precisão suas preferências. Um exemplo de escala de pontos pode ser observado na Figura 10.

Nada importante	1	2	3	4	5	6	7	Muito importante
-----------------	---	---	---	---	---	---	---	------------------

Figura 10. Escala de pontos.

Método do Processo de Análise Hierárquica (PAH)

O método Processo de Análise Hierárquica foi desenvolvido na Wharton School of Business por Thomas Saaty e pretende organizar um problema complexo de forma hierárquica relacionando o objetivo aos critérios, alternativas e fatores. Com o PAH é possível incorporar considerações objetivas e subjetivas no processo de decisão (Lee, 2010).

O PAH é um método baseado no modelo de ponderação aditiva, que tem sido utilizado em SIG de duas maneiras distintas. Este método tanto pode ser utilizado combinando os pesos com as camadas do mapa de critérios, comparando as inúmeras alternativas que possam existir, quanto pode ser utilizado para atribuir prioridades para cada um dos níveis da estrutura hierárquica (Malczewski, 2004).

A organização do problema no PAH é feita em três níveis hierárquicos principais, como pode ser observado na Figura 11 (Dean, 2020):

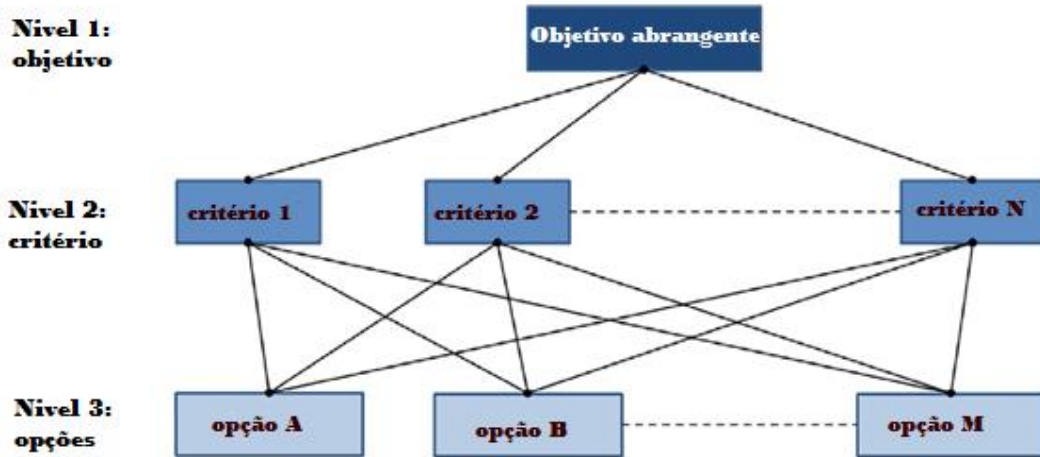


Figura 11. Estrutura típica de PAH para um problema de decisão (Fonte: Dean, 2020).

Na figura 11, o nível 1 corresponde ao objetivo do problema. Em seguida, é apresentado um conjunto de critérios de decisão. Por fim, tem-se um grupo de opções concorrentes. Pode-se ainda inserir um nível intermédio, caso os critérios necessitem de ser divididos em subcritérios. Após a estruturação do problema é preciso determinar a prioridade relativa de cada critério de acordo com o objetivo da análise. Este procedimento é feito através de comparações de critérios entre pares e são atribuídas pontuações quantitativas utilizando uma escala semântica discreta de nove pontos, variando de 1 (quando os dois critérios são "igualmente preferidos") a 9 (quando um critério é "preferido" em relação ao outro). Os resultados das comparações são organizados em uma matriz. Em seguida é calculado um vetor de prioridade para estabelecer os pesos de cada critério (w_j), através da média geométrica de cada critério seguida da normalização. Esses pesos indicam a medida quantitativa da preferência entre pares de critérios (Dean, 2020).

Na última etapa, com os pesos e as pontuações já definidos, os elementos de decisão são agregados para obter uma visão geral, matematicamente expresso da seguinte forma (Dean, 2020):

$$\begin{aligned}
 V(a) &= \sum_{j=1}^n w_j * x_j(a) \\
 &= w_1 * x_1(a) + w_2 * x_2(a) + \dots + w_n * x_n(a)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Onde:

$V(a)$ corresponde à avaliação geral V de uma opção a .

n é o número de critérios.

w_j é o peso do j -ésimo critério.

$x_j(a)$ é a pontuação de desempenho da opção a com respeito ao j -ésimo critério.

3.3.2 Métodos de combinação de critérios

No contexto dos SIG, dois métodos de combinação de critérios são comuns no processo de decisão da análise multicritério, são os métodos da Combinação Linear Ponderada (CLP) e da Média Ponderada Ordenada (MPO) (Jiang & Eastman, 2000) (Malczewski, 2000) (Ramos, 2000).

Em seguida são descritos os dois métodos supracitados.

Método da Combinação Linear Ponderada (CLP)

O método da CLP pode ser aplicado através da consideração das seguintes etapas (Malczewski, 2000):

- 1- definição do conjunto de critérios.
- 2- identificação do conjunto de alternativas viáveis.
- 3- estruturação de mapas de critérios proporcionais.
- 4- definição dos pesos dos critérios.
- 5- combinação dos mapas de critérios.
- 6- classificação das alternativas.

Esta combinação de critérios é feita através da expressão 7 (Eastman J. R., 1999):

$$S = \sum_i w_i x_i * \prod_j c_j \quad (7)$$

Onde:

S é o valor final da pontuação de uma determinada alternativa.

w_i é o peso atribuído ao critério i .

x_i é o valor normalizado (pontuação) do critério i .

c_j é a restrição j .

O método da CLP permite a compensação entre os critérios, ou seja, uma categoria de baixa pontuação de um dado critério pode ser compensada por outras categorias com boas pontuações deste mesmo critério, este recurso é conhecido como trade-off (Eastman J. R., 1999).

Método da Média Ponderada Ordenada (MPO)

O método da MPO foi introduzido pela primeira vez por Yager (1988) com o objetivo de incorporar a análise multicritério para elaborar uma função de decisão geral. Foi implementado em SIG para permitir a agregação de critérios ao unir a sobreposição booleana com a combinação linear ponderada (Eastman & Jiang, 1996).

O método da média ponderada ordenada envolve dois conjuntos de pesos: os pesos de importância do critério (também utilizado na técnica da CLP) e os pesos denominados *order weights*. A primeira parcela de pesos controla a contribuição relativa do critério individual, já a segunda parcela controla o conjunto de critérios (Malczewski, 2004).

Na implementação de Yager (1988), os critérios são ponderados de acordo com sua ordem de classificação de modo a proporcionar classificações situadas entre os operadores booleanos de intersecção (AND) e união (OR). Nesta metodologia é possível variar os pesos de ordenação de acordo com as preferências do decisor e o somatório dos pesos deve corresponder ao valor um. O risco assumido (ANDness) é controlado pelo deslocamento dos pesos de ordenação, desde o valor mínimo até valor máximo e a compensação (tradeoff) é controlada de acordo com a homogeneidade de distribuição dos pesos (Ramos, 2000). A Figura 12 ilustra o espaço estratégico de decisão definido pelo *tradeoff*.

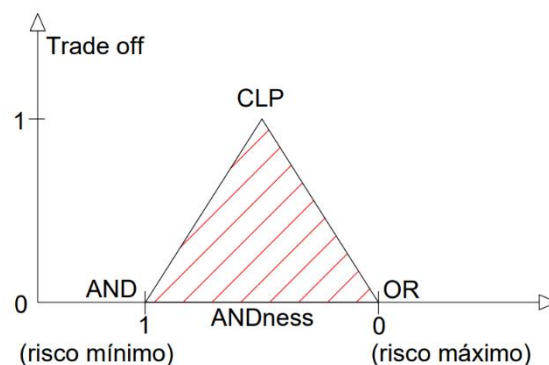


Figura 12. Espaço estratégico de decisão MPO (Fonte: Ramos, 2000).

3.4 Métodos aplicados em SIG

Segundo Eastman J. R. (1999), a AMC é desenvolvida em SIG por meio de duas abordagens principais, o método booleano e a combinação de critérios contínuos. A análise booleana consiste na conversão dos critérios em verdadeiro ou falso de acordo com a decisão a ser considerada, restringindo critérios não-adequados por meio da combinação de interseção (AND) ou união (OR). O segundo método envolve a lógica fuzzy em que se utilizam variáveis contínuas onde os critérios quantitativos (fatores) são convertidos para escalas numéricas que indicam vários graus de adequação para a decisão considerada, em seguida cada fator é multiplicado por um peso e os resultados são somados para chegar a uma solução multicritério. A sobreposição booleana é utilizada principalmente em aplicações em SIG vetoriais e a lógica fuzzy domina as aplicações em SIG raster (Eastman J. R., 1999).

3.4.1 Etapas da análise multicritério espacial

Para tomar uma decisão bem fundamentada é preciso organizar o problema em algumas etapas, de modo que se possa definir prioridades e ter uma visão ampla de todos os fatores envolvidos. A estruturação da análise multicritério espacial pode seguir as seguintes etapas apresentadas na Figura 13 (Malczewski, 2000) (Hansen & Devlin, 2019).



Figura 13. Esquema geral da aplicação da ADMC

Na primeira etapa, definição do problema e determinação do tipo de conhecimento procurado, é feita a estruturação e o enquadramento do problema. Nesta etapa são identificados os objetivos e os tomadores de decisão (Saaty, 2008). Em seguida, para obter a decisão mais apropriada é importante conhecer as alternativas disponíveis ou existentes (Department for Communities and Local Government, 2009), o que corresponde à segunda etapa do processo de análise, isto é, à identificação das opções a serem avaliadas. Na etapa seleção de objetivos e critérios são definidos os critérios relevantes para a decisão de acordo com as preferências dos tomadores de decisão. Além disso, como auxílio para a seleção dos critérios podem ser levados em consideração revisões de literatura, decisões semelhantes, considerações de especialistas e pesquisas de opinião. É importante evitar redundância e sobreposições na escolha dos critérios, e de preferência que eles

sejam independentes (Hansen & Devlin, 2019). Na organização dos critérios em uma hierarquia é feita uma comparação entre os elementos e é definida uma ordem de importância dos critérios (Saaty, 2008). Na fase da ponderação, as prioridades obtidas são utilizadas para atribuir um peso a cada um dos critérios. Esta ponderação reflete a grandeza da importância de um critério em relação aos outros, de acordo com as prioridades definidas pelos tomadores de decisão (Saaty, 2008). Após a ponderação, os dados resultantes podem apresentar graus de grandeza distintos em função das escalas em que cada critério é medido. Sendo assim, é preciso realizar uma normalização dos critérios para facilitar as operações de análise entre critérios. A normalização uniformiza os valores dos critérios em uma mesma escala, o que vai possibilitar a comparação. Esta normalização pode ser feita, por exemplo, por meio da reclassificação, onde é definida uma escala a partir dos valores máximos e mínimos do critério em questão, utilizando a Expressão 8 (Eastman, Jin, Kyem, & Toledano, 1995):

$$x_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} * m \quad (8)$$

Onde:

x_i é o valor normalizado.

R_i é o valor a ser normalizado.

R_{max} é o valor máximo para o critério.

R_{min} é o valor mínimo para o critério.

m é o intervalo a ser normalizado.

Após a normalização dos critérios é possível realizar a combinação de pesos de acordo com a regra de decisão escolhida. Para isto é preciso definir um procedimento para combinação de critérios, como por exemplo, os métodos CLP ou MPO (Ramos, 2000). Ao fim da análise ADMC é importante verificar a robustez dos resultados por meio de uma análise de sensibilidade, pois é inevitável a introdução de erros nos mapas de critérios. Os erros podem ser inseridos por considerar dados incoerentes ou por atribuição de pesos e valores incertos por imprecisão das partes interessadas (Chakhar & Mousseau, 2008). A análise de sensibilidade verifica a maneira como os erros em um conjunto de dados de entrada afetam o erro no resultado final. Nesta análise é estimada uma faixa de possíveis pesos e funções de valor. Por exemplo, podem ser utilizados os limites mínimo e máximo do intervalo ao invés da melhor estimativa, enquanto os outros critérios são mantidos constantes (Hansen & Devlin, 2019).

A apresentação desta sequência de etapas corresponde apenas a uma ilustração da ordem mais comum de aplicação do método ADMC. Entretanto não indica a obrigatoriedade da sua aplicação

necessariamente nessa ordem. Em particular, as etapas 4 e 5 podem ser implementados sequencialmente, simultaneamente ou iterativamente (Hansen & Devlin, 2019).

Capítulo 4

Metodologia

4.1 Introdução

O objetivo desta pesquisa é desenvolver uma ferramenta passível de ser utilizada em ambiente SIG que permita determinar um índice de mobilidade suave (pedonal e ciclável) das vias que compõem a rede de infraestruturas de transporte das cidades, de modo a auxiliar o planejamento urbano. Como elemento diferenciador a ferramenta inclui a consideração da inclinação das vias, o que permite incluir na análise o fator orografia das cidades, permitindo a sua aplicação a vários cenários, em particular nas cidades que se desenvolvem em encosta. A metodologia desenvolvida busca identificar as vias com elevado potencial pedonal e ciclável, particularmente para viagens pendulares diárias da população ativa.

A metodologia proposta foi estruturada em três fases de desenvolvimento como pode ser observado no fluxograma da Figura 14. Na primeira fase é efetuada a seleção e armazenamento da informação espacial e alfanumérica necessárias à análise e foram definidas as variáveis. Na segunda fase são realizadas a análise espacial, em que inicialmente, a partir dos mapas temáticos foi feita a distribuição dos valores das variáveis no território; a análise de redes, com vista à determinação das áreas de serviço definidas em função do tempo de percurso admissível; e a análise multicritério, usada para combinar as variáveis consideradas. Por fim, na terceira fase é feita a calibração do modelo e a avaliação dos resultados.

4.2 Fase 1: Seleção das variáveis da análise e preparação dos dados

Com base em estudos anteriores consultados na bibliografia, relativos à avaliação do potencial de infraestruturas de transporte para a mobilidade suave (Nogueira, 2020) (Passos, 2018), é definido o conjunto de fatores que mais estimulam a utilização dos modos suaves nos trajetos pendulares. A partir destes fatores são definidas as variáveis que podem traduzir uma medida do potencial pedonal e ciclável da infraestrutura existente em cidades, com particular atenção às cidades de encosta, nomeadamente: a localização e importância dos polos geradores de viagens; a densidade

populacional; e as características da rede viária e pedonal, como a classificação hierárquica, o declive das vias e a existência de passeios e equipamentos dedicados à circulação pedonal.

4.2.1 Polos geradores de viagens

Os polos geradores de viagens correspondem ao conjunto dos diferentes equipamentos que atraem pessoas para o desenvolvimento de atividades, sejam elas de natureza educacional (escolas e universidades), comercial (shoppings, supermercados e mercados municipais), para fins de lazer (jardins, parques, museus e teatros), serviços de saúde (hospitais, clínicas e centros de saúde), serviços públicos (bibliotecas, correios, junta de freguesia, etc.), de turismo (hotéis e pousadas) ou de transportes (estações de autocarros ou comboios). O acesso a estas atividades requer a deslocação das pessoas que, para os trajetos de curta distância, poderiam optar pelos modos suaves de transporte.

4.2.2 Densidade populacional

A densidade populacional permite relacionar a população residente com a área territorial correspondente, tornando possível fazer comparações entre as várias subsecções e divisões territoriais. Para calcular a densidade populacional por subsecção estatística é utilizada a seguinte expressão (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2021):

$$Dens. Pop. = \frac{Pop.residente}{Área} \quad (9)$$

Onde:

Pop.residente representa a população residente por subsecção estatística do INE (Instituto Nacional de Estatística).

Área é referente à área da subsecção estatística em km² ou ha.

Dens. Pop. é expressa em hab./km² ou hab./ha.

A avaliação da densidade populacional é um dos fatores de grande relevância na mobilidade urbana pois à medida que aumenta a densidade, aumenta o número de deslocações e a demanda por serviços e oportunidades o que justifica uma melhor distribuição das infraestruturas.

4.2.3 Rede viária

Na variável da rede viária é tido em conta a hierarquia viária das vias, sendo consideradas as vias distribuidoras principais, distribuidoras locais e de acesso local que compreendem velocidades de circulação dos veículos motorizados mais baixas; e a inclinação longitudinal, pois afeta diretamente o tempo de percurso e a adesão aos modos suaves de transporte. Além disso, para as análises pedonais foi considerada a existência de passeios, pois os espaços dedicados a determinado tipo de circulação aumentam a segurança dos utilizadores e favorecem a adoção de determinado modo.

4.3 Fase 2: Análise espacial, de redes e multicritério

Na segunda fase da aplicação da metodologia são utilizados os Sistemas de Informação Geográfica, nomeadamente o ArcGIS 10.7 da ESRI, que dispõe de uma ampla gama de ferramentas para a análise espacial e de redes.

Na análise espacial inicial são elaborados mapas temáticos relativos ao conjunto da informação necessária para a realização da análise, nomeadamente: mapas da divisão administrativa da área de estudo, da localização dos principais polos geradores de viagens, da densidade populacional, da hierarquização viária da rede de estradas, da inclinação das vias, da existência de passeios e das velocidades praticadas por pedestres e ciclistas.

Para a análise de redes é utilizada a extensão *Network Analyst*. A partir das características da rede viária, do modo de transporte e pela aplicação do modelo *Tobler's Hiking Function* (Irtenkauf, 2014) e dos valores propostos por Fruin (1987) e Flugel et al. (2019), são calculadas as velocidades pedonal, de bicicletas tradicionais e de e-bikes, além dos tempos de viagem. Nesta análise foi considerada a inclinação de cada segmento da rede viária, a conectividade entre os segmentos e a hierarquia da via. A aplicação desta ferramenta tem como resultado a definição de áreas de serviço, que determinam quais regiões podem ser alcançadas a partir de uma dada localização, com base na distância ou no tempo de viagem.

Os intervalos de tempos de viagem a considerar na análise foram definidos a partir de inquéritos aplicados em estudos anteriores (Nogueira, 2020). Os inquéritos foram aplicados a um painel de especialistas e a um conjunto de cidadãos comuns (população ativa), para aferir o tempo que consideravam admissível para viagens a pé numa cidade de encosta. A partir dos resultados obtidos foram definidas três áreas de influência em função do tempo de percurso: entre 0 e 5 minutos, entre 5 e 10 minutos, entre 10 e 15 minutos e entre 15 e 20 minutos. Foi efetuada uma abordagem semelhante para o modo ciclável (Passos, 2018), tendo sido usadas distâncias em vez

de tempos. Estas distâncias, considerando as velocidades médias de circulação das bicicletas convencionais e e-bikes, correspondem sensivelmente aos mesmos intervalos de tempo utilizados na análise pedonal. Portanto, os mesmos tempos foram utilizados tanto para as viagens pedonais quanto cicláveis, com o objetivo de uniformizar as análises e chegar a um índice que compreenda os dois modos.

Para a análise multicritério é utilizado o método da Combinação Linear Ponderada (CLP) de critérios por permitir a atribuição de pesos aos critérios considerados e a incorporação de restrições booleanas. A partir dos dados modelados com auxílio do SIG foi realizada a análise multicritério com recurso ao *Spatial Analyst* do ArcGIS. Esta ferramenta permite manipular, consultar e analisar dados raster baseados em células, de modo a obter novas informações resultantes dos dados geoespaciais.

A análise multicritério considera 3 critérios: o critério 1 correspondente à localização dos polos geradores de viagens; o critério 2 relativo à densidade populacional; e o critério 3 representativo das características da rede viária e pedonal (a classificação hierárquica, o declive das vias e a existência de passeios e equipamentos dedicados à circulação pedonal). Os critérios 1 e 2 são utilizados na análise como fatores e o critério 3 como restrição booleana. A informação correspondente aos critérios é convertida para o formato raster e são atribuídos pesos aos subcritérios do critério 1 e ao critério 2.

Os subcritérios do critério 1 correspondem às categorias dos equipamentos considerados na análise (polos geradores da categoria comércio, educação, lazer, saúde, serviços públicos, transporte e turismo), os pesos são atribuídos com base nas preferências declaradas por especialistas e população ativa através da realização de inquéritos, sendo os valores obtidos normalizados para uma escala de 0-100. As áreas de serviço para cada uma das categorias de equipamentos é definida na análise de redes, sendo posteriormente aplicado o método de soma ponderada para obter uma pontuação única para o critério 1.

Na preparação do critério 2 são normalizados os valores da densidade populacional de cada subsecção estatística numa escala de 0-100 e para o critério 3 é utilizado o valor “1” para os segmentos da rede com características adequadas para a utilização pedonal e ciclável e o valor “0” para os segmentos desfavoráveis a utilização por estes modos, o que corresponde às vias coletoras com velocidade de circulação superiores a 70km/h. Além disso, para análise ciclável são retiradas as vias com inclinações muito desfavoráveis, para bicicletas tradicionais são desclassificadas as vias com inclinação superior a 5% e inferior a -5% e para bicicletas elétricas acima de 10% e abaixo de -10%.

A análise da rede pedonal inclui ainda a verificação da existência de passeios em cada segmento da rede. Para as vias onde não há passeio, foi aplicada uma penalização ao valor do índice, com o intuito de indicar que as vias sem passeio são menos favoráveis à utilização pedonal por

apresentar menor segurança para a circulação de peões. Para as vias exclusivamente pedonais, elevadores, funiculares, escadarias e pontes pedonais, esta penalização não foi aplicada.

Em seguida, através do método da Combinação Linear Ponderada são combinados os três critérios para cada um dos modos de transporte considerados (pedonal, bicicleta tradicional e bicicleta elétrica), e são determinados os potenciais de mobilidade pedonal (Expressão 10) e ciclável (Expressão 11).

$$PP = (p_{PG} \times PG + p_{DP} \times DP) \times RP \times m_p \quad (10)$$

$$p_{PG} + p_{DP} = 1$$

Onde:

PP representa o potencial da infraestrutura pedonal, em uma escala de 0 a 100, onde “0” corresponde a segmentos sem potencial pedonal e “100” a segmentos com elevado potencial pedonal.

p_{PG} é o peso a atribuir aos polos geradores (0-1).

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

p_{DP} é o peso a atribuir à densidade populacional (0-1).

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

RP corresponde ao valor do critério da rede viária pedonal (onde “0” é aplicado para segmentos da rede viária sem características para a circulação pedonal e “1” é aplicado para segmentos com características para a circulação pedonal).

m_p é a minoração a atribuir à rede viária pedonal quando não houver passeio (valor proposto de 0,75).

$$PCi = (p_{PG} \times PG + p_{DP} \times DP) \times RCi \quad (11)$$

$$p_{PG} + p_{DP} = 1$$

Onde:

PCi representa o potencial da infraestrutura viária para a circulação ciclável, em que “ i ” corresponde ao tipo da bicicleta, ou seja, “ t ” se a análise diz respeito a bicicleta tradicional ou “ e ” se elétrica. A escala adotada é de 0 a 100, onde “0” corresponde a segmentos sem potencial ciclável e “100” corresponde a segmentos com elevado potencial ciclável.

p_{PG} é o peso a atribuir aos polos geradores (0-1).

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

p_{DP} é o peso a atribuir à densidade populacional (0-1).

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

RCi corresponde ao valor do critério da rede viária (onde “0” é aplicado para segmentos da rede viária sem características para a circulação ciclável e “1” é aplicado para segmentos com características para a circulação ciclável).

Por fim, para obter o índice de mobilidade suave, que conjuga os modos pedonal e ciclável é feita uma combinação entre os resultados obtidos nas expressões 10 e 11 através da expressão 12.

$$PMS = \sum_{i=1}^n P_i \times p_i \quad (12)$$

$$p_i + p_{i+1} + \dots + p_n = 1$$

Onde:

PMS representa o potencial de mobilidade suave em uma escala de 0 a 100, onde “0” corresponde a segmentos sem potencial de mobilidade suave e “100” corresponde a segmentos com elevado potencial de mobilidade suave.

i é o tipo de modo suave (por exemplo: pedonal, bicicleta tradicional e e-bike).

n é o número de modos suaves considerados na análise.

P_i é o valor do potencial de mobilidade do modo suave i .

p_i é o peso do modo suave i no potencial de mobilidade suave (total).

Os valores dos pesos atribuídos a cada tipo de modo suave são definidos através das preferências declaradas por especialistas e responsáveis pela gestão de redes pedonais e cicláveis através da aplicação de inquéritos.

4.4 Fase 3: Análise dos resultados

Na terceira fase da metodologia é realizada a análise de sensibilidade do modelo, onde são analisados os resultados obtidos para as diferentes combinações de pesos e é feita a calibração se necessária. Os resultados são então apresentados em mapas que mostram diferentes graus de adequação de cada segmento da rede viária à utilização a partir dos modos pedonal, ciclável e da combinação de ambos. E é feita ainda, uma análise numérica, para avaliar a extensão e percentagem da rede com potencial pedonal, ciclável e de mobilidade suave.

O fluxograma da Figura 14 apresenta as etapas das operações e as ferramentas utilizadas em cada fase da metodologia para as análises pedonal, ciclável e de mobilidade suave.

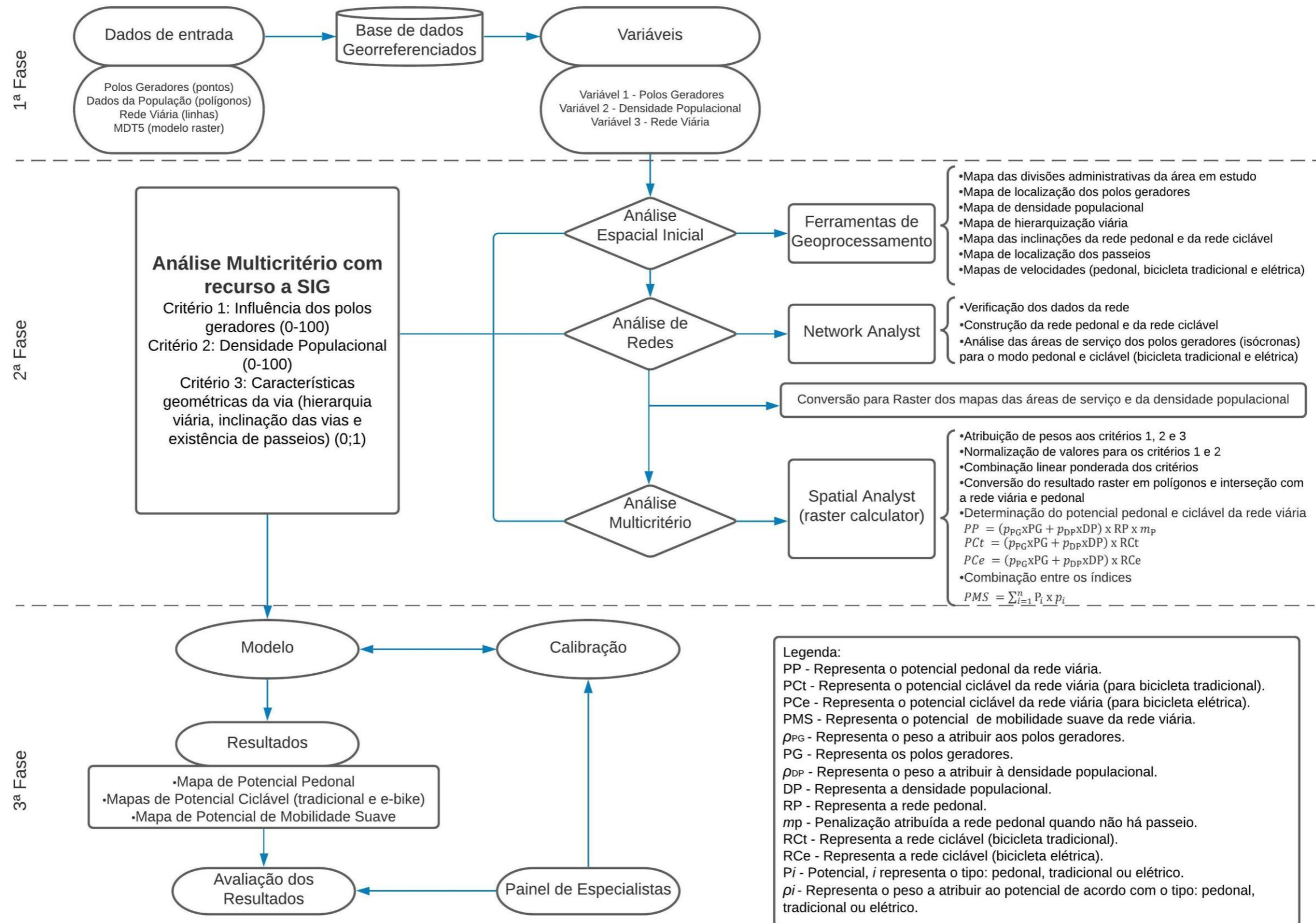


Figura 14. Fluxograma detalhado da avaliação do potencial de mobilidade suave.

Capítulo 5

Caso de Estudo

5.1 Área de estudo

Para validação da metodologia proposta para avaliar o potencial de mobilidade suave de segmentos de redes viárias e pedonais, foi feita uma aplicação a um caso de estudo. A área em que incide o estudo situa-se na vertente sudeste da Serra da Estrela, na cidade da Covilhã, mas especificamente no seu perímetro urbano. A Covilhã é o centro urbano mais importante na zona da Serra da Estrela. Sua topografia, característica das cidades serranas, compreende cotas que variam entre os 400m e 800m, o que pode dificultar a adesão da população ativa a modos suaves de deslocação.

5.1.1 Território e população

O concelho da Covilhã situa-se na Cova da Beira (NUT III), Beira Baixa, na região Centro de Portugal. Covilhã pertence ao distrito de Castelo Branco e é composta, atualmente, por 21 freguesias, dispondo de uma área territorial de aproximadamente 555,6km² e uma população de aproximadamente 51 800 habitantes (Câmara Municipal da Covilhã, 2021) (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011).

A área em estudo corresponde ao perímetro urbano do concelho, composto por 5 freguesias: Covilhã e Canhoso, Boidobra, Tortosendo, Cantar Galo e Vila do Carvalho, e Teixoso, resultantes da Reorganização Administrativa do Território das Freguesias em 2013. Esta região possui a maior concentração populacional e os principais equipamentos urbanos do concelho, ocupando 122,46km² da área total do concelho e albergando 36.356 dos seus habitantes.

Os dados censitários disponíveis e utilizados (2011) são anteriores à Reorganização Administrativa do Território das Freguesias (2013), portanto foram consideradas no estudo as freguesias que constituíam o perímetro urbano antes da reorganização: antigas freguesias de Conceição, São Martinho, São Pedro, Santa Maria e Canhoso (constituem atualmente a freguesia da Covilhã e Canhoso), Tortosendo, Teixoso, Cantar Galo, Vila do Carvalho e Boidobra.

As Figuras 15 e 16 apresentam, respetivamente, as freguesias do Concelho da Covilhã e o perímetro urbano do concelho antes da reorganização administrativa do território das freguesias de 2013. As Figuras 17 e 18 apresentam as freguesias e o perímetro urbano após a reorganização.

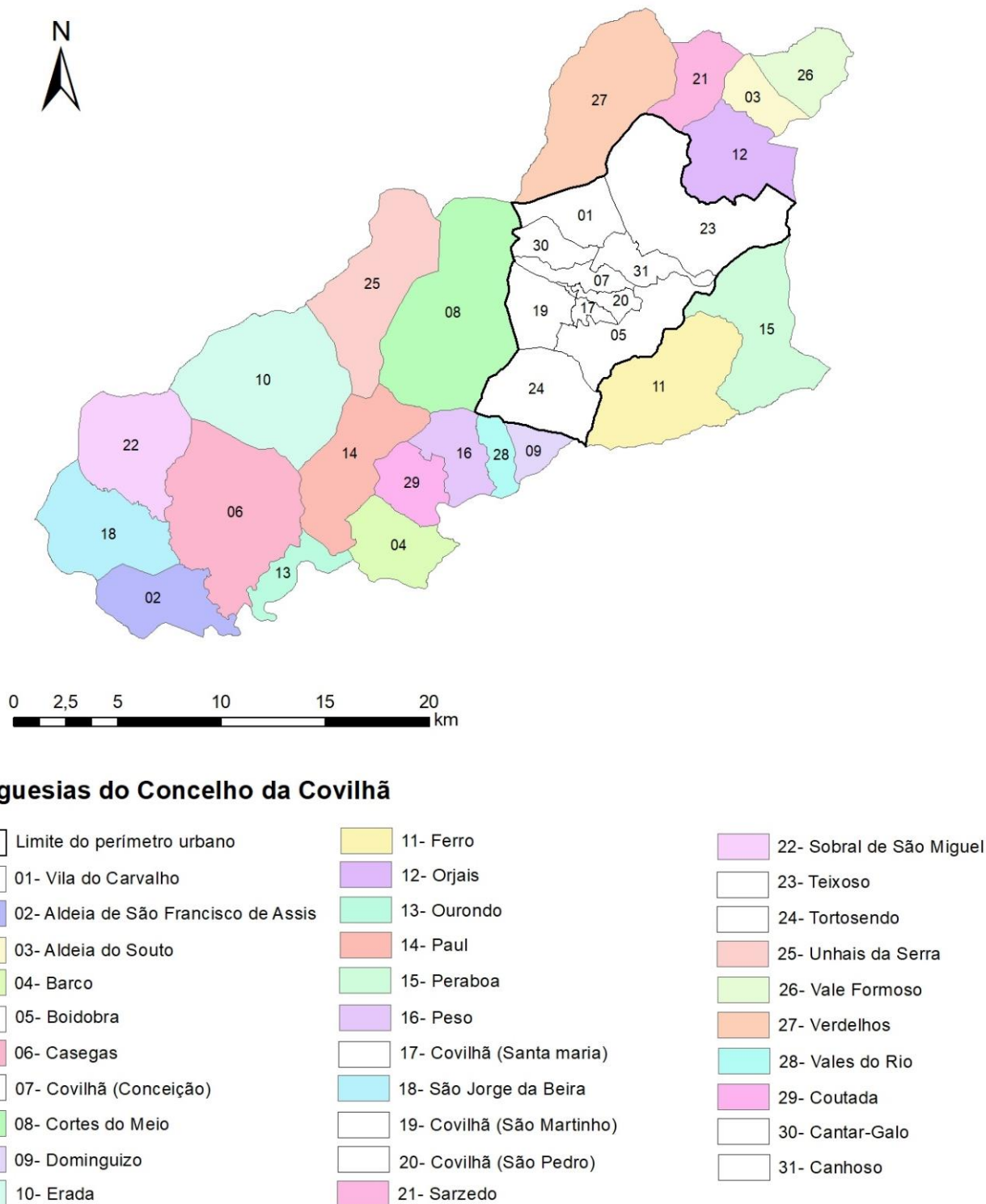


Figura 15. Freguesias do Concelho da Covilhã antes da reorganização administrativa de 2013.

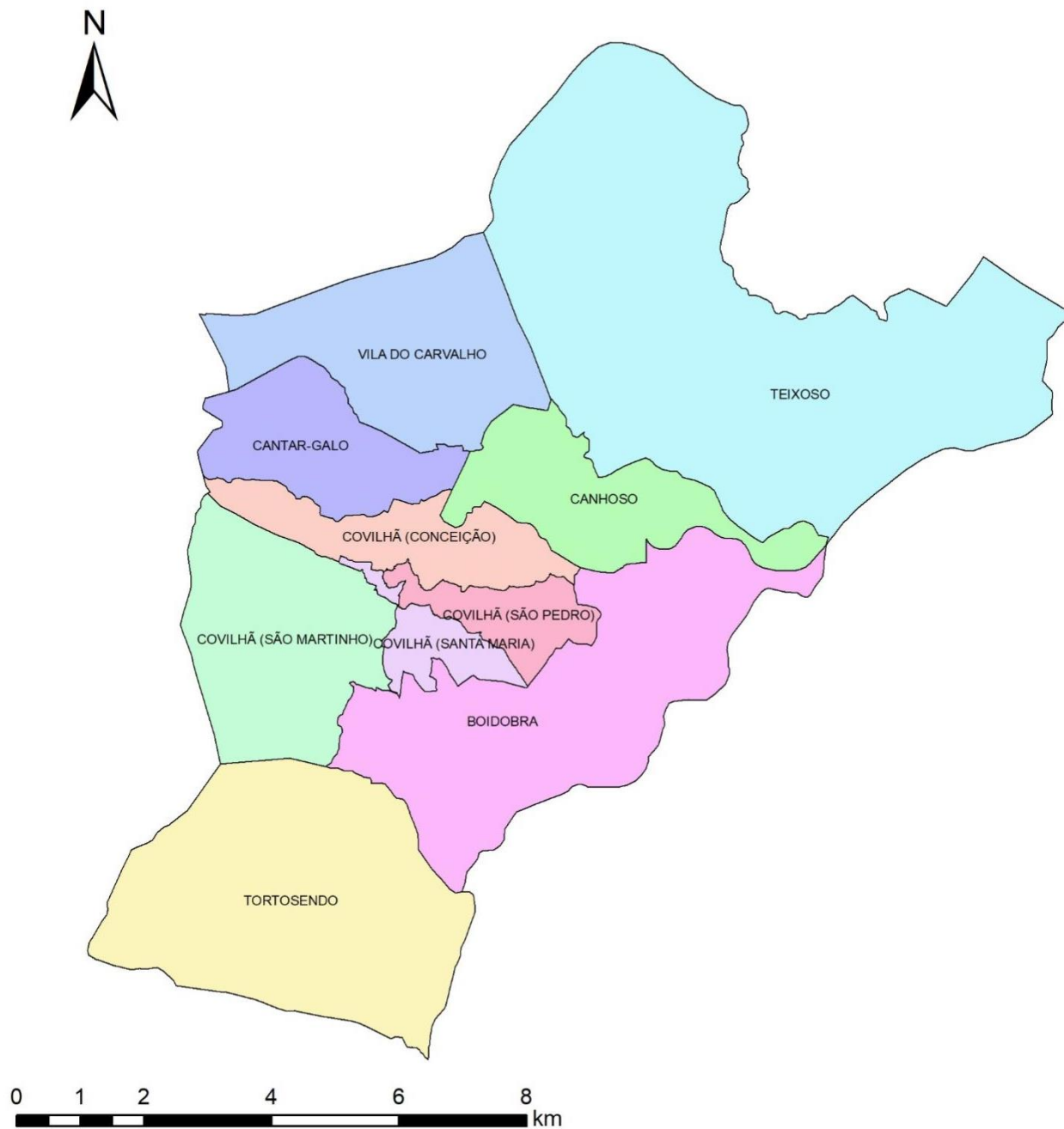
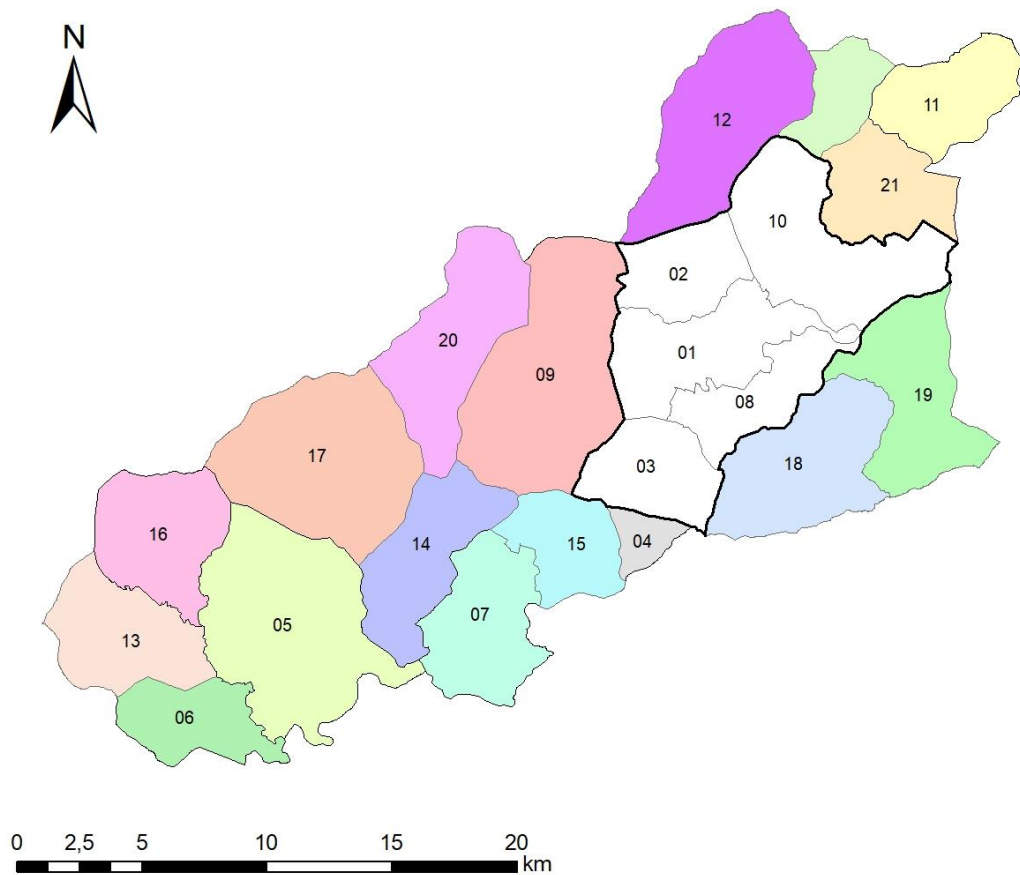


Figura 16. Freguesias do perímetro urbano do Concelho da Covilhã antes da reorganização administrativa de 2013.



Freguesias do Concelho da Covilhã

	Perímetro Urbano		11-Vale Formoso e Aldeia do Souto
	01-Covilhã e Canhoso		12-Verdelhos
	02-Cantar-Galo e Vila do Carvalho		13-São Jorge da Beira
	03-Tortosendo		14-Paul
	04-Dominguizo		15-Peso e Vales do Rio
	05-Casegas e Ourondo		16-Sobral de São Miguel
	06-Aldeia de São Francisco de Assis		17-Erada
	07-Barco e Coutada		18-Ferro
	08-Boidobra		19-Peraboa
	09-Cortes do Meio		20-Unhais da Serra
	10-Teixoso e Sarzedo		21-Orjais

Figura 17. Freguesias do Concelho da Covilhã depois da reorganização administrativa de 2013.



Figura 18. Freguesias do perímetro urbano do Concelho da Covilhã depois da reorganização administrativa de 2013.

No que diz respeito à população residente, o território português tem enfrentado um acelerado abandono das regiões do Interior de Portugal Continental. Entre os anos de 2001 e 2011 o concelho da Covilhã apresentou uma redução populacional e passou de 54.507 para 51.797 habitantes, representando uma perda populacional de 4,97% (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2001) (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011). À data da finalização da realização deste trabalho os resultados preliminares dos censos 2021 sobre a população ficaram

disponíveis, tendo-se verificado uma redução da população residente de 10,30% entre os anos de 2011 e 2021 (46453 habitantes em 2021) (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2021). Nas Figuras 19 e 20 pode ser observada a densidade populacional do Concelho da Covilhã por freguesia e por subsecção estatística correspondente aos dados dos censos 2011. É notório que os valores mais elevados correspondem às freguesias que constituem o perímetro urbano do concelho.

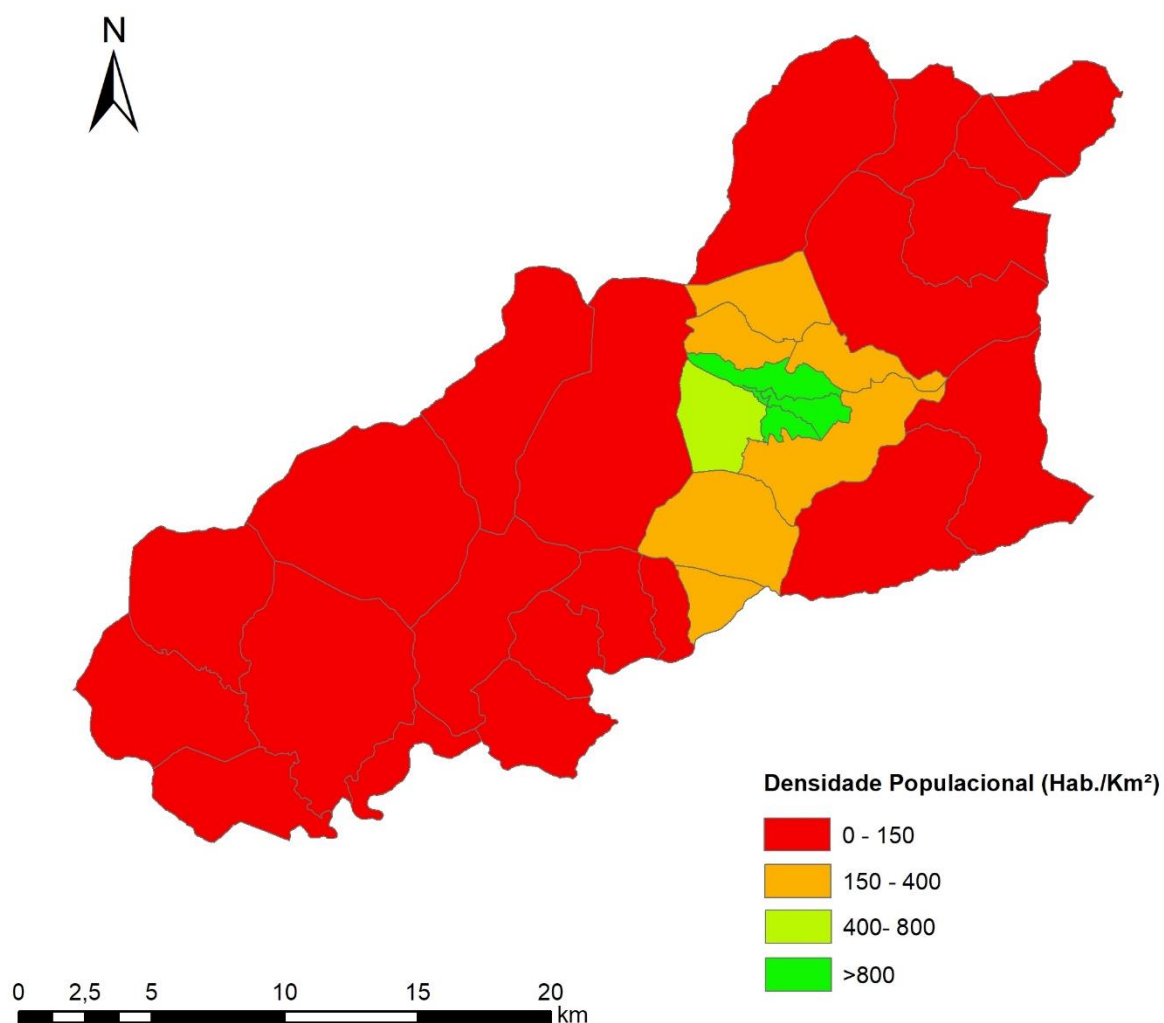


Figura 19. Densidade populacional do Concelho da Covilhã por freguesia (hab./km²).

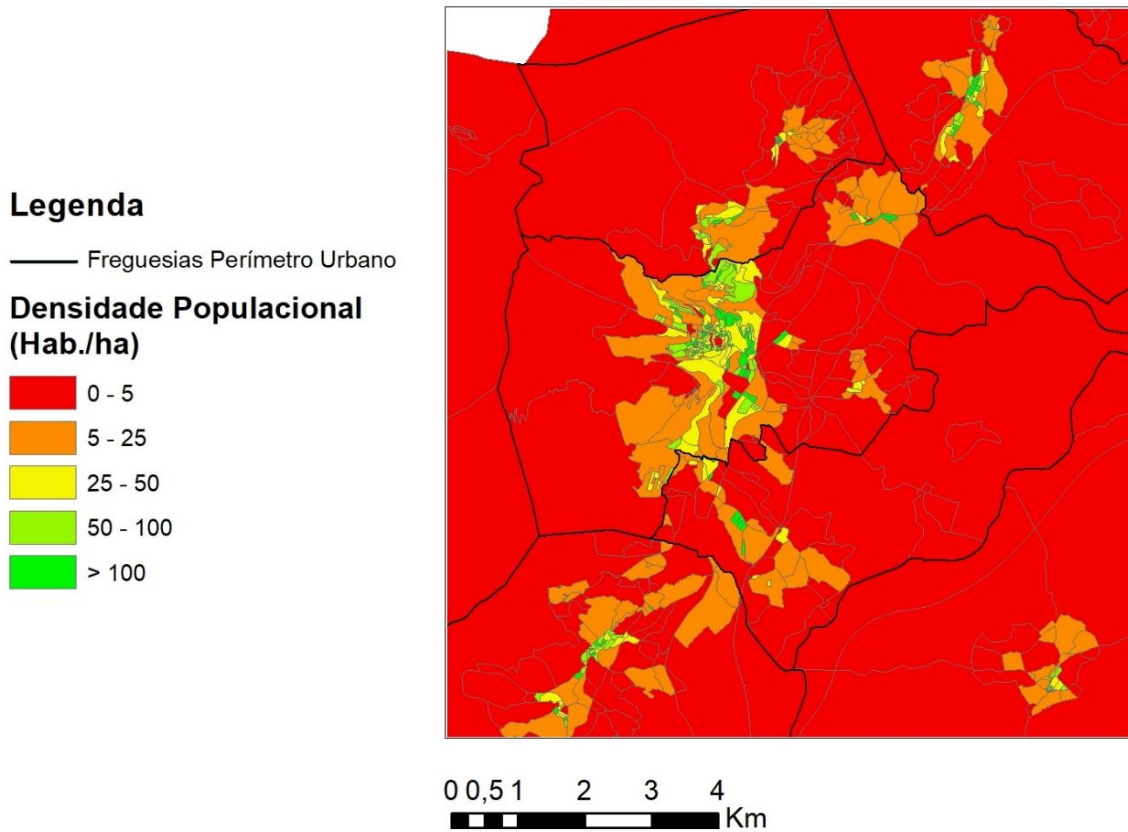
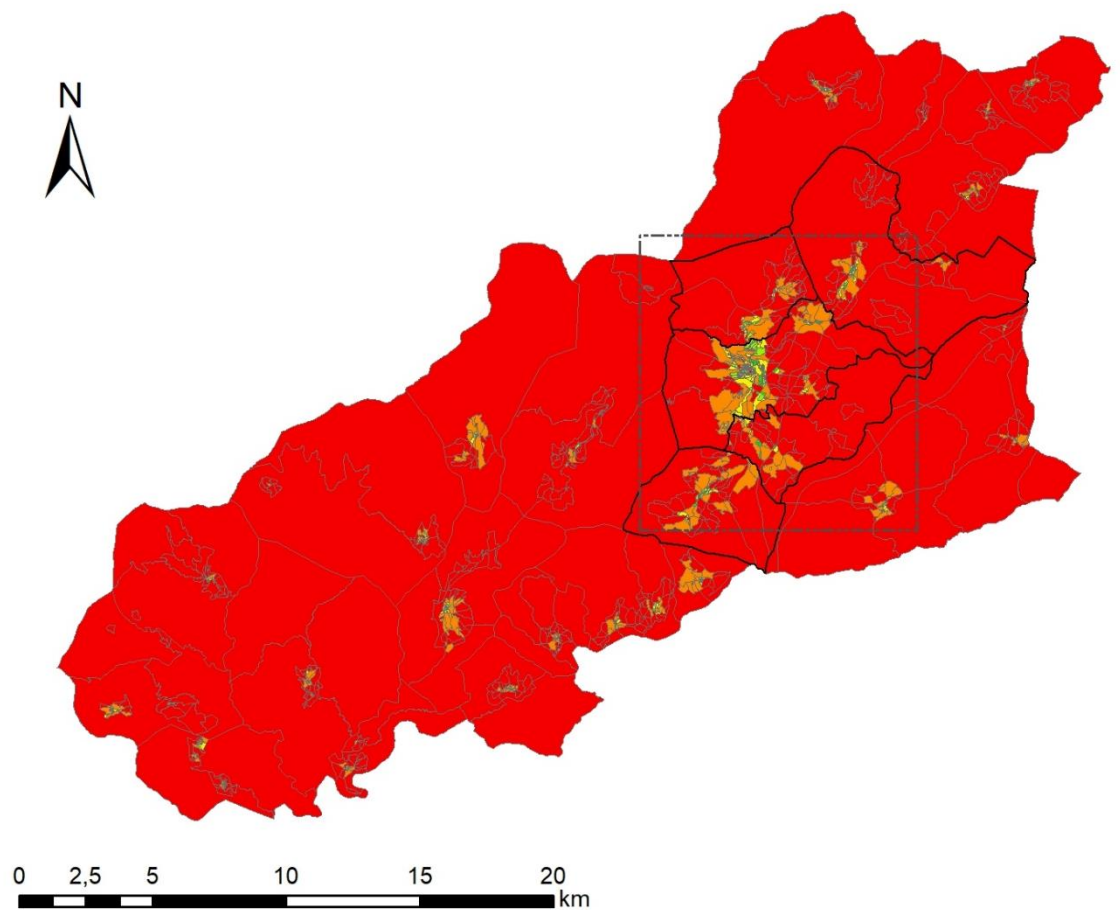


Figura 20. Densidade populacional do Concelho da Covilhã por subsecção estatística (hab./ha).

Quanto à distribuição etária da população do Concelho da Covilhã, embora seja uma cidade universitária, a maior parte da população universitária não reside oficialmente/permanentemente na Covilhã. Isto contribui para uma tendência de envelhecimento da população verificada de acordo com os dados censitários (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011) que podem ser observados na Figura 21. Pode-se verificar ainda, a representatividade da população ativa, que se inclui nas classes 15-24 anos e 25-64 anos, que corresponde a população alvo que se pretende captar para os modos suaves.

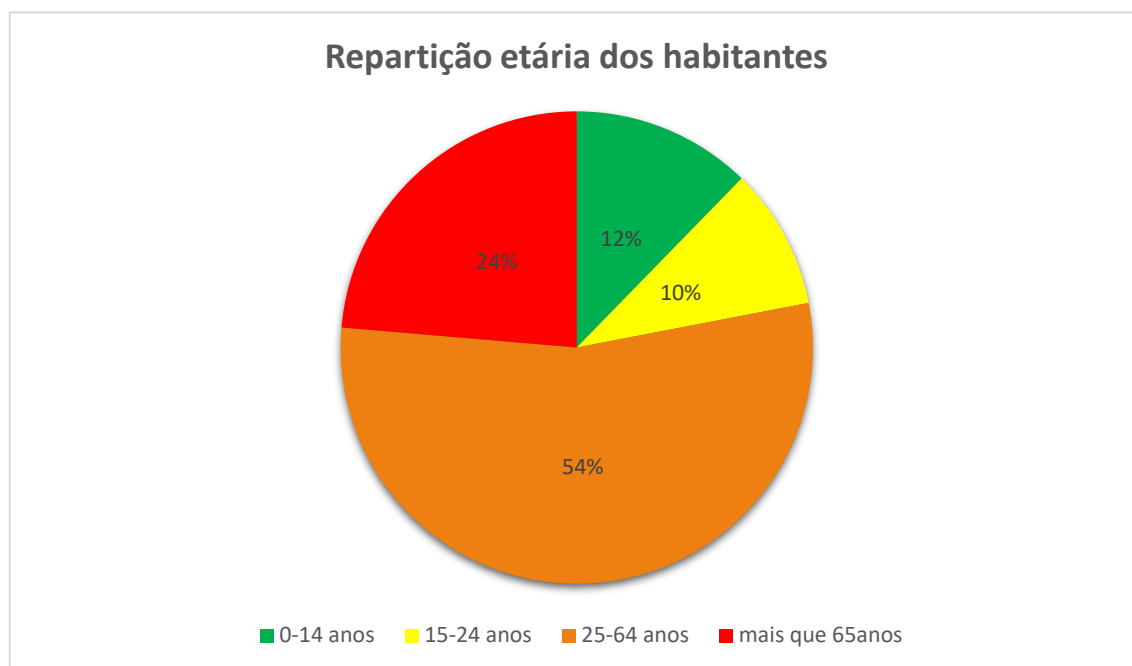


Figura 21. Distribuição etária dos habitantes do Concelho da Covilhã (2011).

5.1.2 Contexto histórico e de mobilidade

A história da Covilhã está ligada ao seu território, que se caracteriza pela rica diversidade de atividades laborais e pela autossustentabilidade. As atividades agro-pastoris, a caça, a pesca nos rios e ribeiros, o abastecimento de lenhas e a abertura à atividade mercantil estimularam a prática dos lanifícios a partir do XII. Ainda na condição de vila, a Covilhã recebeu a fábrica-escola fundada por D. Luís de Menezes, conde da Ericeira, localizada na Ribeira da Carpinteira. Tempos depois foi instalada pelo Marquês de Pombal a Real Fábrica de Panos, junto à Ribeira da Degoldra. Em 20 de outubro de 1870 teve sua categoria elevada a cidade pelo rei D. Luís (Jesus, 2008).

As cidades antigas dispõem de uma estrutura territorial e viária adequada às necessidades da época. Estas cidades, como é o caso da Covilhã, não foram inicialmente planeadas para a utilização corrente dos automóveis, portanto seus centros históricos e sítios mais antigos apresentam

estrutura pouco favorável relativamente aos requisitos da mobilidade atual. Para elaborar uma proposta de mobilidade é necessário compreender as várias características da sua estrutura territorial, bem como as necessidades e o modo de vida de sua população.

Ao analisar os dados recolhidos nos Censos 2011 (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011) pode-se perceber quais são os modos de transporte mais utilizados nos movimentos pendulares na Covilhã e analisar o tempo médio gasto nas deslocações diárias em comparação com a média nacional. A Figura 22 ilustra e compara o nível de utilização dos modos de transporte nos movimentos pendulares na Covilhã e em Portugal.

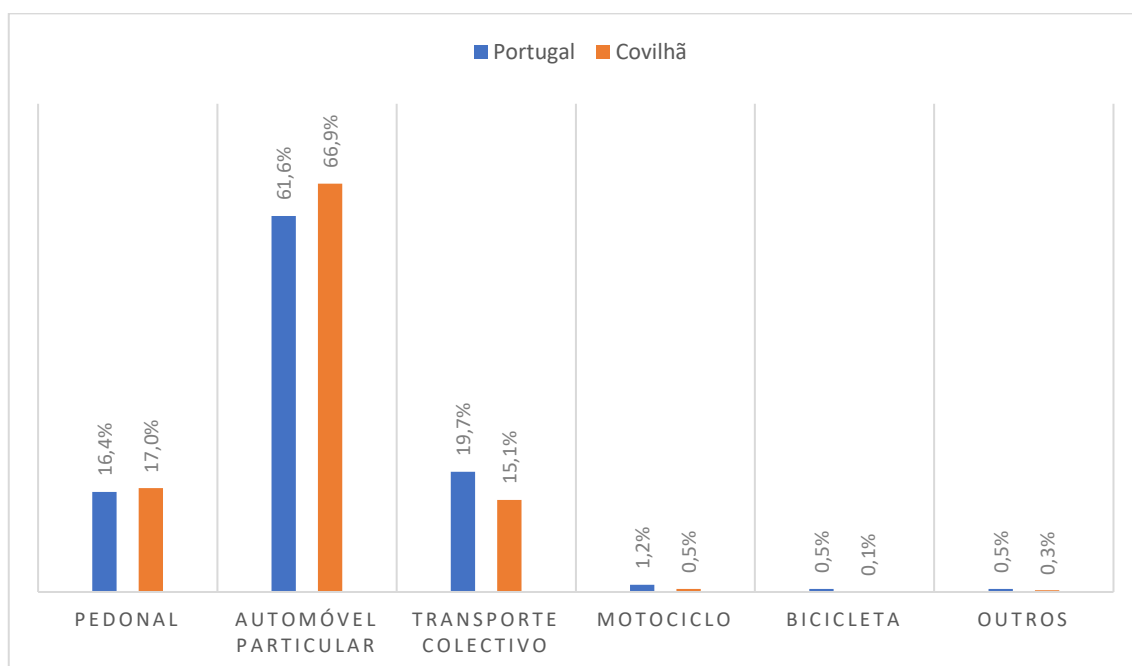


Figura 22. Proporção da utilização de cada modo de transporte nos movimentos pendulares no concelho da Covilhã e a nível nacional (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011).

Pode-se perceber a alta representatividade da utilização do automóvel particular tanto na Covilhã quanto a nível nacional. Quanto ao transporte coletivo, a nível nacional é o segundo mais utilizado, o que não ocorre na Covilhã, que apesar das características topográficas tem o modo pedonal como o segundo mais utilizado nos movimentos pendulares, o que pode ser justificável pela infraestrutura que a cidade apresenta com escadarias e pontes pedonais que ligam os principais pontos da cidade. Em contrapartida, a utilização da bicicleta se mostra praticamente inexistente.

Quanto à duração média do deslocamento diário da população residente empregada ou estudante, a Covilhã apresenta um tempo médio de 14,97 minutos sendo mais baixo que a média nacional que apresenta 19,98 minutos (INE- Instituto Nacional de Estatística, 2011).

5.2 Aplicação da metodologia

5.2.1 Dados

Para aplicação da metodologia foi necessário reunir um conjunto de dados geográficos referentes à área urbana estudada, nomeadamente dados sobre a rede viária, a localização dos polos geradores de viagens, os limites administrativos do concelho e o modelo digital do terreno (MDT) com resolução espacial de 5m (célula de 5m). Estes dados geográficos foram obtidos em formato digital e tratados com auxílio do ArcGIS (versão 10.7) tendo-se adotado no projeto o sistema de coordenadas PT-TMO6/ETRS89 – *European Terrestrial Reference System 1989*.

Também foram necessários dados alfanuméricos referentes à população do concelho da Covilhã, obtidos a partir dos dados do último censo geral realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (2011).

Para avaliar o potencial da infraestrutura pedonal e ciclável da região estudada, consideraram-se três variáveis a utilizar na análise espacial e multicritério (critérios): Polos Geradores, Densidade Populacional e Rede Viária.

Variável 1: Polos geradores

A variável 1 corresponde à localizações dos principais polos geradores de viagens, ou seja, à localização dos principais equipamentos existentes no concelho da Covilhã. Foi verificado que a maioria destes equipamentos estão instalados no perímetro urbano da cidade. Estes equipamentos são responsáveis por determinar grande parte dos movimentos pendulares e diários realizados no concelho.

Para se tornar o processo de análise mais rápido e eficiente, os Polos Geradores foram agrupados em 07 categorias diferentes de acordo com a sua funcionalidade:

- Comércio (6 equipamentos)
- Educação (22 equipamentos)
- Lazer (12 equipamentos)
- Saúde (5 equipamentos)
- Serviços Públicos (20 equipamentos)
- Transporte (2 equipamentos)
- Turismo (6 equipamentos)

As Tabelas 7 e 8 apresentam os equipamentos considerados na análise, agrupados pelas respetivas categorias.

Tabela 7. Principais equipamentos das categorias Comércio, Educação, Turismo e Transportes

Categoria	Equipamento
Comércio	1 - Covilhã Shopping
	2 - Intermarché
	3 - Serra Shopping
	4 - Lidl
	5 - Mercado Municipal da Covilhã
	6 - Sporting Shopping Center
Educação	7 - UBI - Faculdade de Ciências da Saúde
	8 - UBI - Faculdade de Ciências / Faculdade de Artes e Letras
	9 - UBI - Faculdade Engenharias
	10 - UBI - Faculdade Ciências Sociais e Humanas
	11 - UBI - Polo Desporto/Residências
	12 - Escola Secundária Quinta das Palmeiras
	13 - Escola Secundária Frei Heitor Pinto
	14 - Escola Secundária Campos Melo
	15 - Escola Pêro da Covilhã
	16 - Escola Básica 2º e 3º ciclo do Teixoso
	17 - Escola Básica Integrada de São Domingos
	18 - Escola Básica 2º e 3º ciclo do Tortosendo
	19 - Escola Profissional de Artes da Beira Interior
	20 - Escola Básica "A Lã e a Neve"
	21 - Escola Básica da Boidobra
	22 - Escola Básica de Santo António
	23 - Escola Básica do Refúgio
	24 - Escola Básica de São Silvestre
	25 - Escola Básica do Rodrigo
	26 - Escola Básica nº1 do Teixoso
	27 - Escola Básica de Vila do Carvalho
	28 - Escola Básica dos Penedos Altos
Turismo	29 - Hotel Pura Lã
	30 - Hotel TRYP D. Maria
	31 - Hotel Santa Eufémia
	32 - Hotel Solneve
	33 - Hotel Covilhã Jardim
	34 - Covilhã Parque Hotel
Transporte	35 - Estação Ferroviária da Covilhã
	36 - Central de Camionagem

Tabela 8. Principais equipamentos das categorias Lazer, Serviços e Saúde.

Categoria	Equipamento
Lazer	37 - Complexo Desportivo da Covilhã
	38 - Jardim do Lago
	39 - Jardim das Artes
	40 - Jardim da Goldra
	41 - Jardim Municipal
	42 - Piscina Municipal
	43 - ADE – Associação Desportiva da Estação
	44 - Museu de Arte Sacra
	45 - Museu dos Lanifícios
	46 - Tinturaria – Galeria de Exposições
	47 - Teatro Cine
	48 - Estádio José Santos Pinto
Serviços	49 - Finanças
	50 - CMC - Câmara Municipal da Covilhã
	51 - CTT - Posto de correios da Covilhã
	52 - ADC - Águas da Covilhã, EM
	53 - IEFP - Instituto do Emprego e Formação Profissional
	54 - Biblioteca Municipal
	55 - Esquadra PSP
	56 - CTT - São Lazaro
	57 - Tribunal
	58 - Junta de Freguesia da Covilhã
	59 - Posto de Turismo
	60 - Biblioteca Central da UBI
	61 - Posto da GNR
	62 - Estaleiros da CMC
	63 - Junta de Freguesia do Tortosendo
	64 - Junta de Freguesia do Teixoso
	65 - Junta de Freguesia da Boidobra
	66 - Junta de Freguesia da Vila do Carvalho
	67 - Junta de Freguesia de Cantar-Galo
	68 - Segurança Social
Saúde	69 - Centro de Saúde da Covilhã
	70 - Centro Hospitalar Cova da Beira
	71 - CEDIR - Centro de Diagnostico
	72 - Centro de Saúde do Tortosendo
	73 - Posto Médico de Vila do Carvalho

A Figura 23 apresenta a distribuição dos principais equipamentos pelo perímetro urbano do concelho com simbologia por categorias. Nas Figuras 24 a 29 são apresentados os mapas de cada categoria de equipamento, com identificação dos mesmos através da numeração apresentada nas Tabelas 07 e 08.

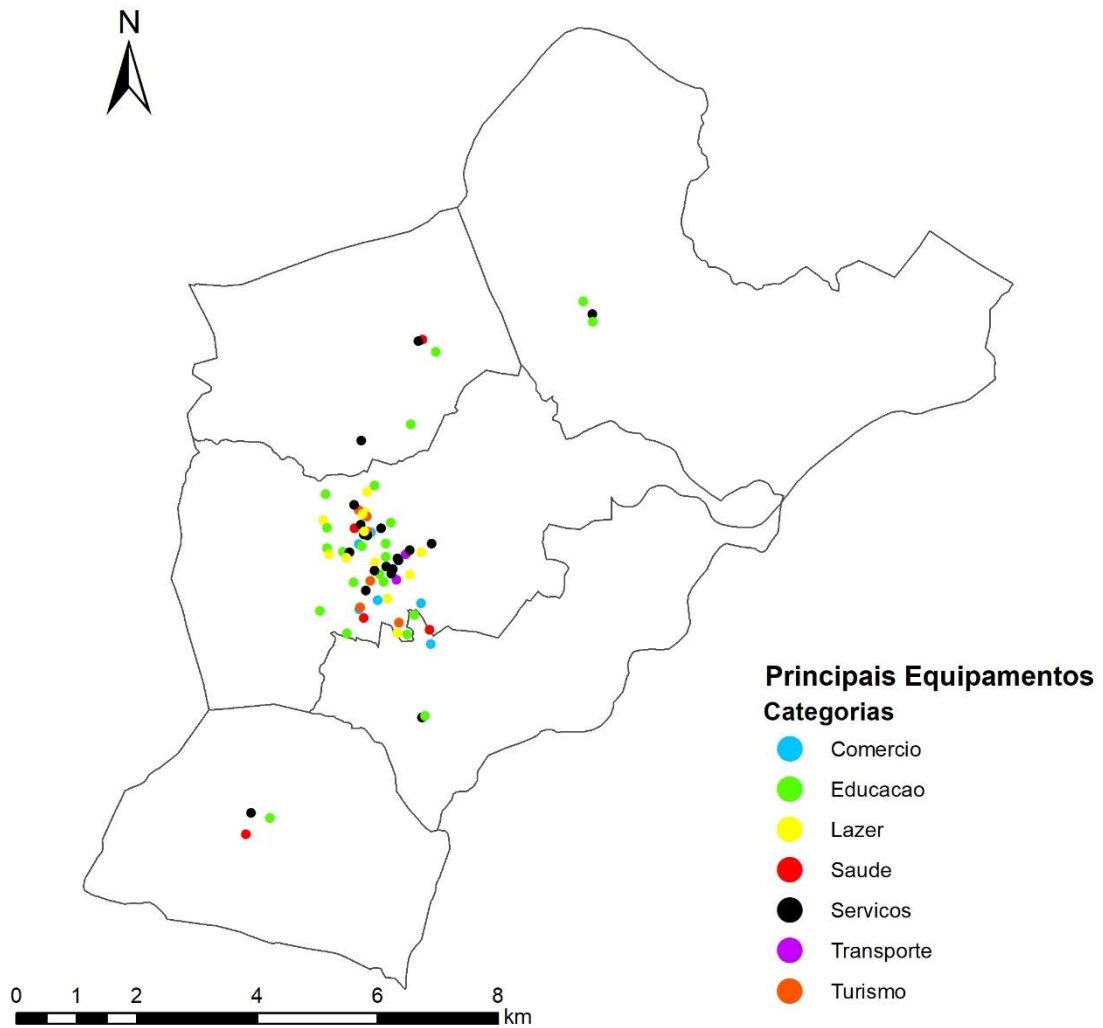


Figura 23. Principais equipamentos localizados no perímetro urbano do Concelho da Covilhã, por categorias.

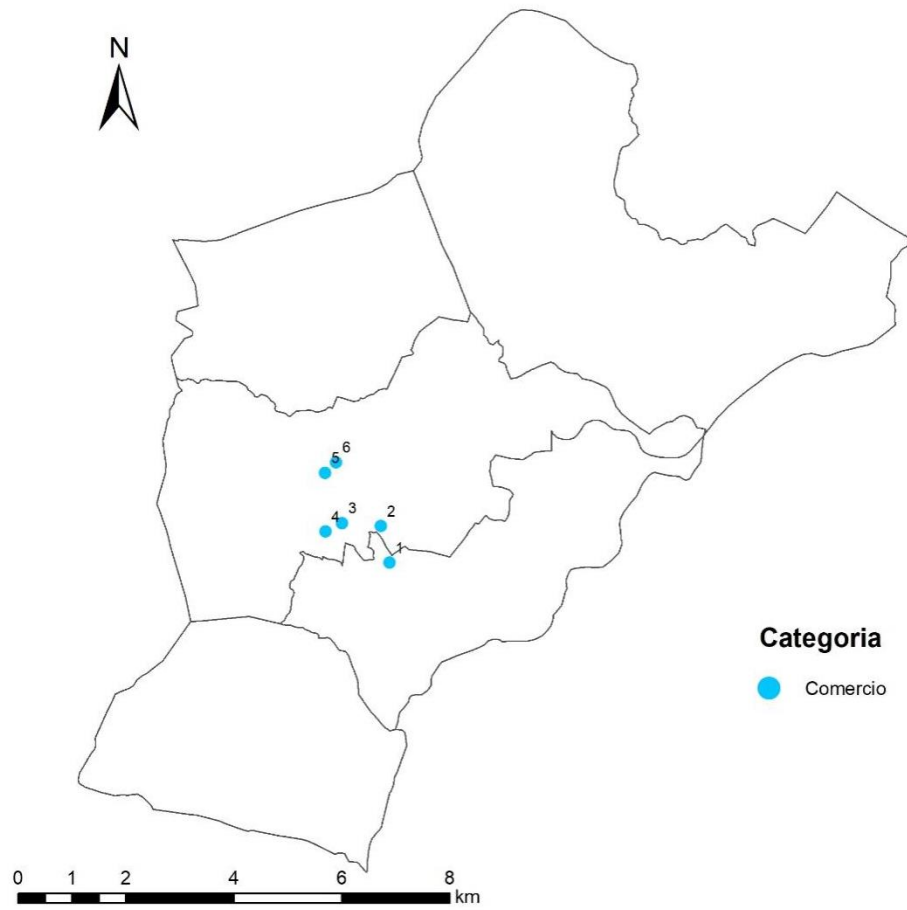


Figura 24. Equipamentos da categoria Comércio existentes no perímetro urbano da Covilhã.

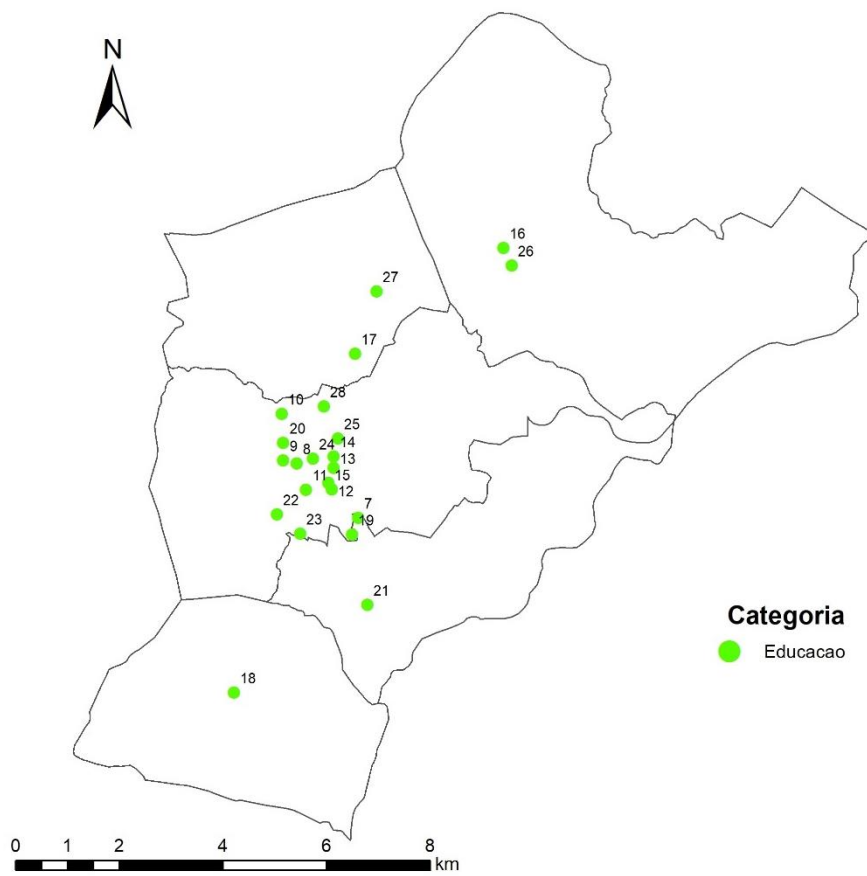


Figura 25. Equipamentos da categoria Educação existentes no perímetro urbano da Covilhã.

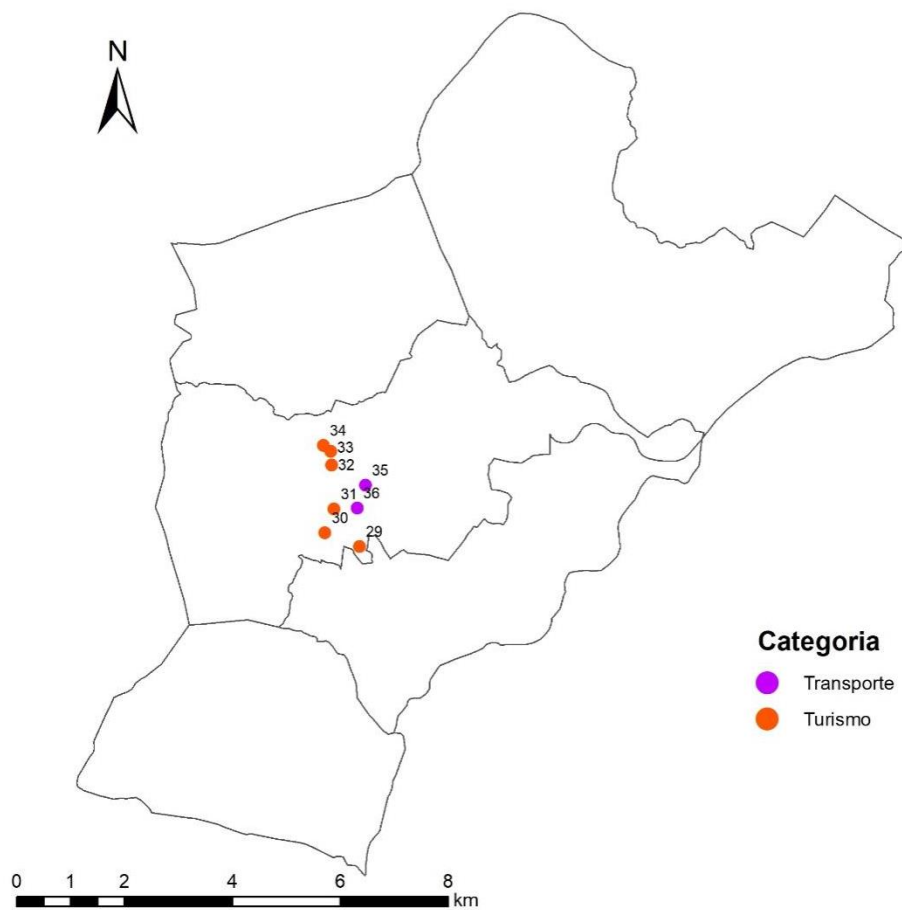


Figura 26. Equipamentos das categorias Turismo e Transportes existentes no perímetro urbano da Covilhã.

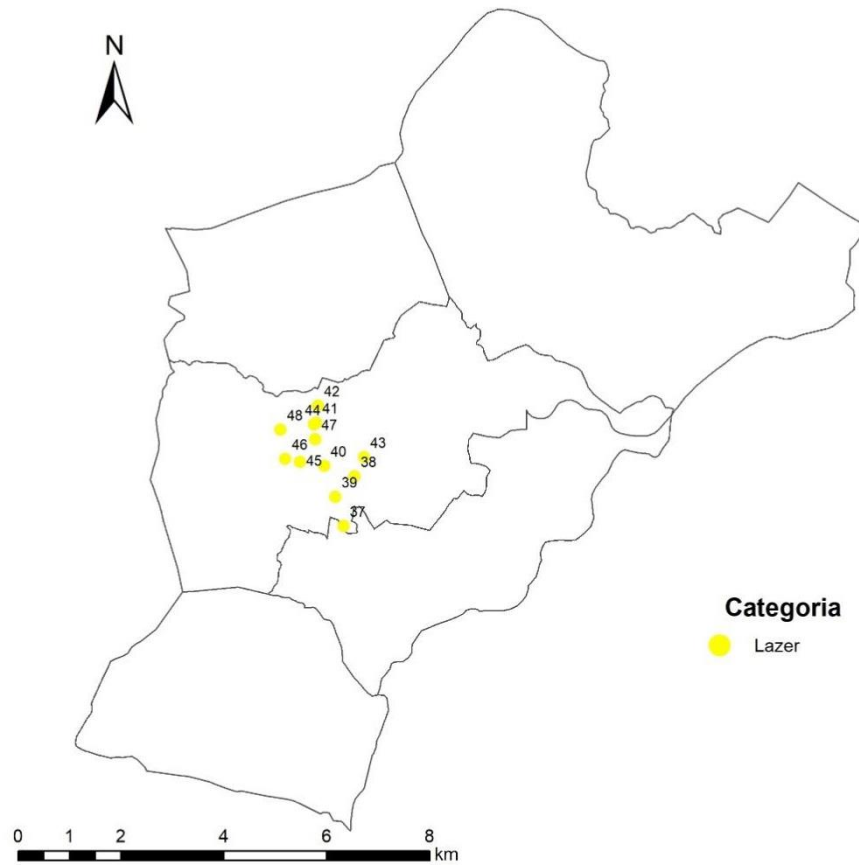


Figura 27. Equipamentos da categoria Lazer existentes no perímetro urbano da Covilhã.

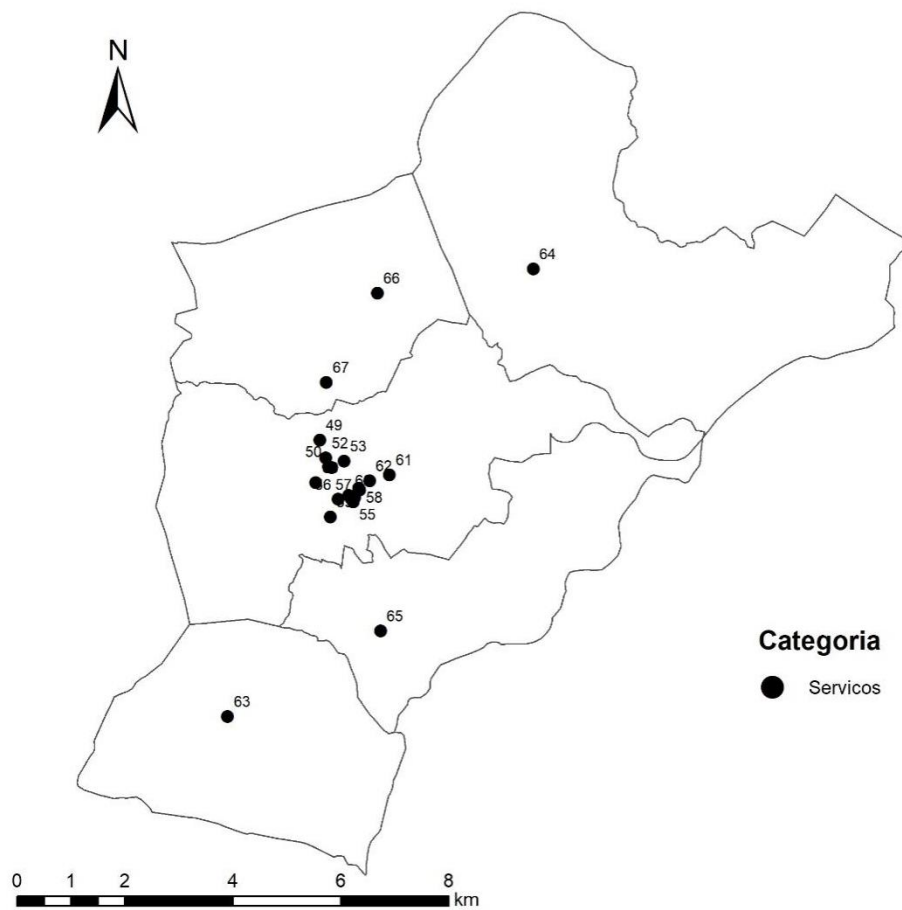


Figura 28. Equipamentos da categoria Serviços existentes no perímetro urbano da Covilhã.

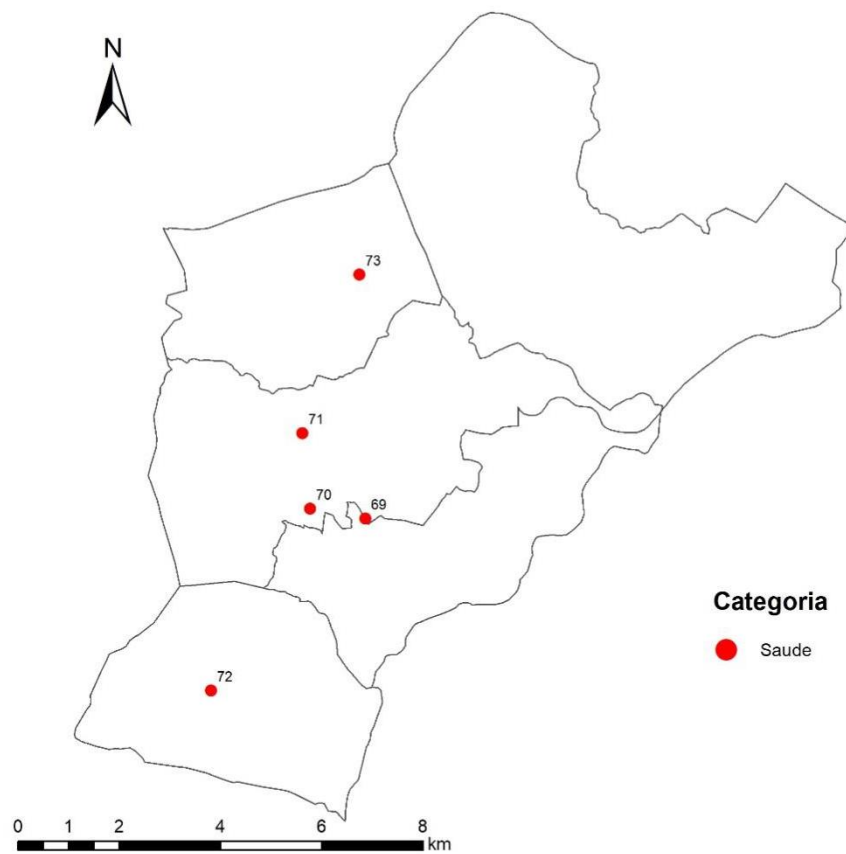


Figura 29. Equipamentos da categoria Saúde existentes no perímetro urbano da Covilhã.

Pode-se perceber que em geral, a maioria dos equipamentos se localizam na freguesia de Covilhã e Canhoso, coincidindo, como era de esperar, com a maior concentração da população.

Variável 2: Densidade populacional

A variável 2 é definida pela densidade populacional e foi calculada a partir da informação vetorial e alfanumérica obtida na Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI) do INE (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2011).

Para obter a densidade populacional do perímetro urbano da Covilhã foram considerados os dados da população residente ao nível da subsecção estatística, expressa em habitantes, e o cálculo da área de cada subsecção, expresso em hectares.

A Figura 30 apresenta a distribuição espacial da densidade populacional por subsecção estatística do perímetro urbano da Covilhã.

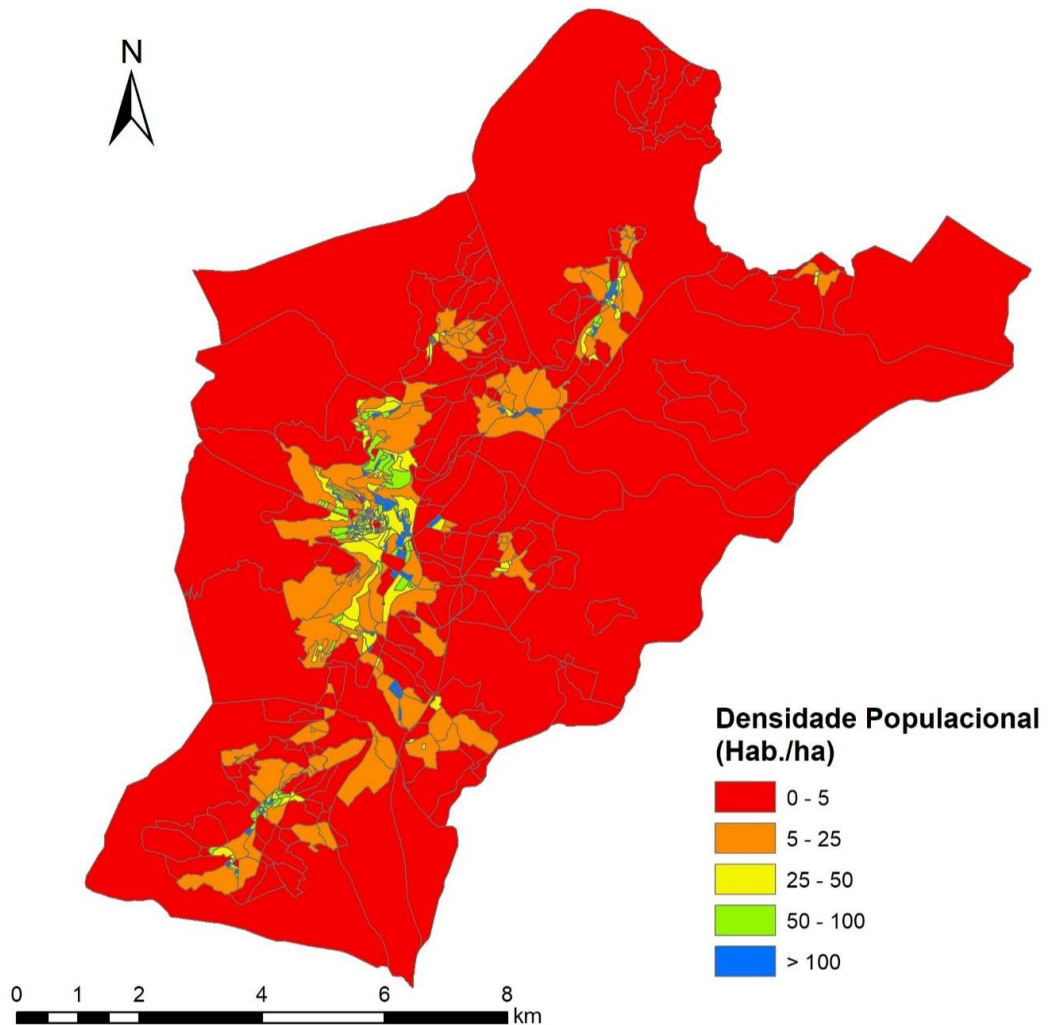


Figura 30. Densidade populacional no perímetro urbano do Concelho da Covilhã por subsecção estatística (hab./ha).

Variável 3: Rede viária

A terceira variável corresponde à infraestrutura viária e pedonal existente no perímetro urbano. No caso dos peões será considerada como infraestrutura a rede viária, com exceção das vias coletoras, pois não são adequadas para a circulação pedonal por não apresentar segurança ao peão devido às altas velocidades praticadas pelos veículos. Na rede pedonal são considerados ainda os equipamentos facilitadores da deslocação a pé como escadarias, rampas, elevadores, funiculares, pontes pedonais e percursos pedonais em parques e jardins. Para a análise do modo ciclável foi considerada a rede viária com exceção das vias coletoras, não consideradas pelas mesmas razões apresentadas para o modo pedonal.

Para o modelo pedonal, a extensão da rede analisada é de cerca de 399km e para o modelo ciclável cerca de 397km. A distribuição da extensão dessas redes quanto à hierarquização viária pode ser consultada nas Tabelas 09 e 10. A distribuição e localização da hierarquia das vias analisadas são apresentadas na Figura 31.

Tabela 9. Distribuição da extensão da rede pedonal do perímetro urbano do Concelho da Covilhã, quanto à hierarquização.

Categoria	Extensão
Vias Distribuidoras Principais (VDP)	49,5 km (12,40%)
Vias Distribuidoras Locais (VDL)	114,1 km (28,59%)
Vias de Acesso Local (VAL)	233,6 km (58,54%)
Elementos do Sistema Pedonal	1,8 km (0,45%)

Tabela 10. Distribuição da extensão rede viária do perímetro urbano do Concelho da Covilhã analisada para o modo ciclável, quanto à hierarquização.

Categoria	Extensão
Vias Distribuidoras Principais (VDP)	49,5 km (12,47%)
Vias Distribuidoras Locais (VDL)	114,1 km (28,74%)
Vias de Acesso Local (VAL)	233,6 km (58,84%)

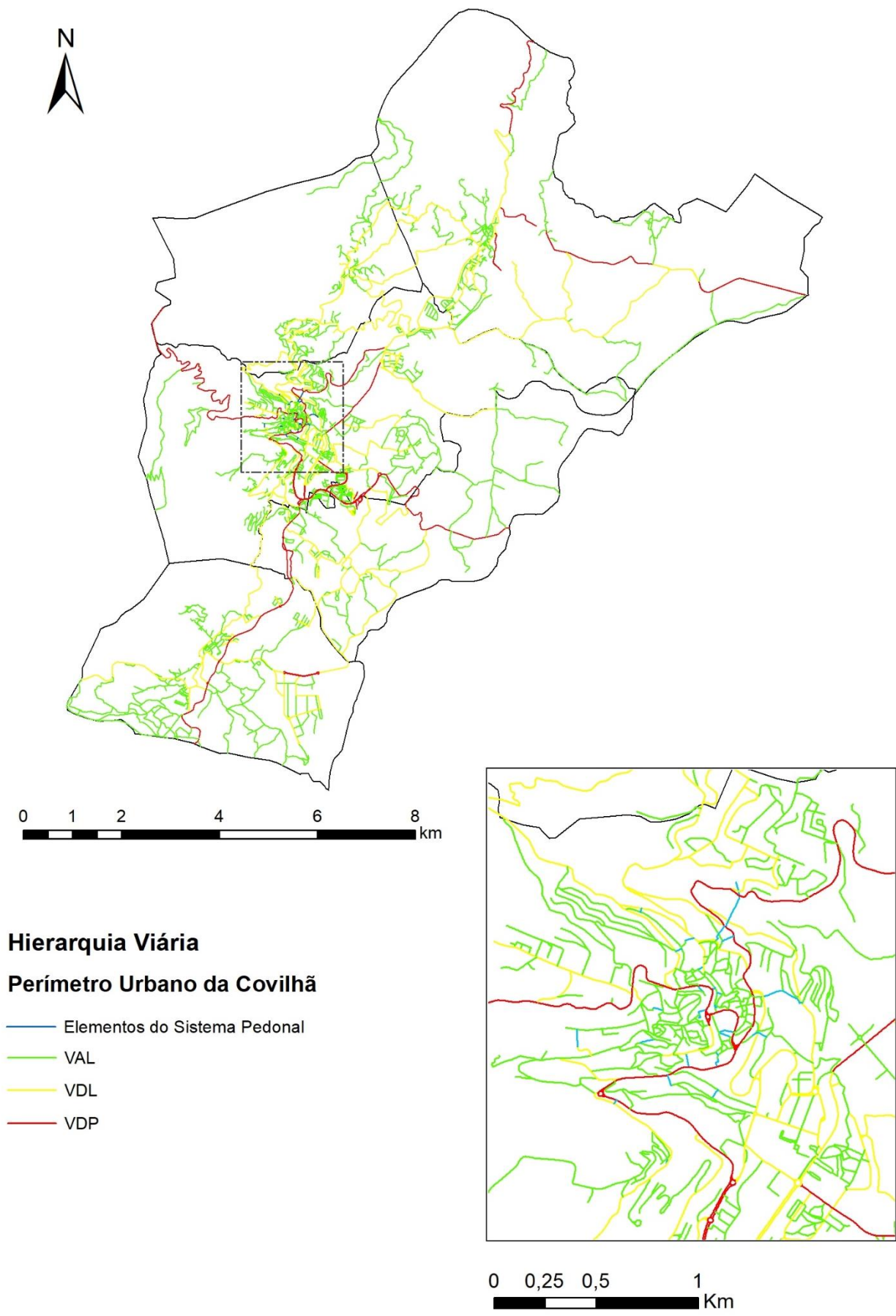


Figura 31. Mapa da rede viária do perímetro urbano da Covilhã e respetiva hierarquização.

5.2.2 Análise espacial inicial

Preparação da rede

A rede viária utilizada na análise foi cedida por Nogueira (2020), que em seu estudo do potencial da infraestrutura pedonal analisou as relações de conectividade, viragem e elevação da rede viária, retirou as vias do tipo coletoras, corrigiu os sentidos de circulação, que nos casos de percursos pedonais é permitido em todas as vias nos dois sentidos, e acrescentou os percursos pedonais não coincidentes com a rede viária (circuitos em parques e jardins, escadarias, elevadores, funiculares e pontes pedonais).

Na análise espacial inicial da rede pedonal foi acrescentada a informação relativa à existência de passeios. Esta verificação foi feita a partir da observação de cada segmento da via utilizando o *Basemap World Imagery* no ArcGIS. Esta verificação dos passeios constatou que cerca de 124km das vias analisadas na rede pedonal dispõem de passeios, o que configura 31% do total das vias consideradas. Na Figura 32 é apresentado o mapa com as localizações dos passeios. Pôde-se verificar por observação da Figura 33 que os passeios se encontram principalmente nas áreas territoriais onde se concentram a população residente e os equipamentos.

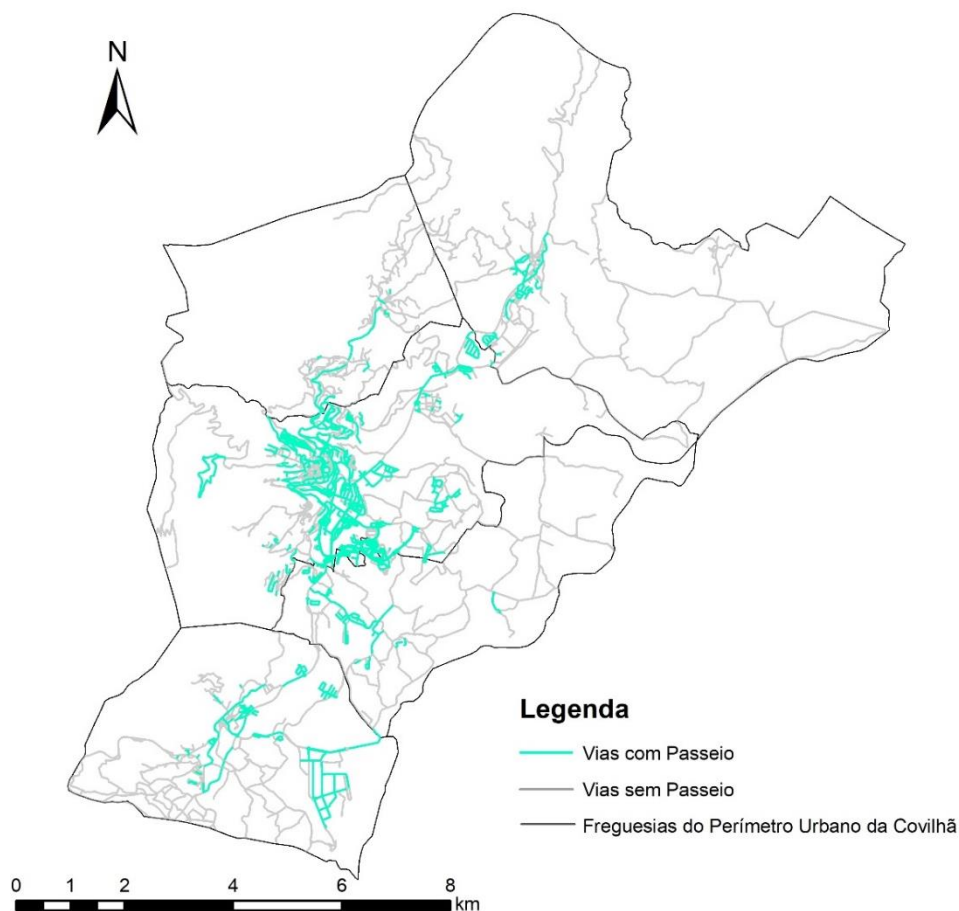


Figura 32. Mapa da rede pedonal do perímetro urbano da Covilhã com a localização dos passeios.

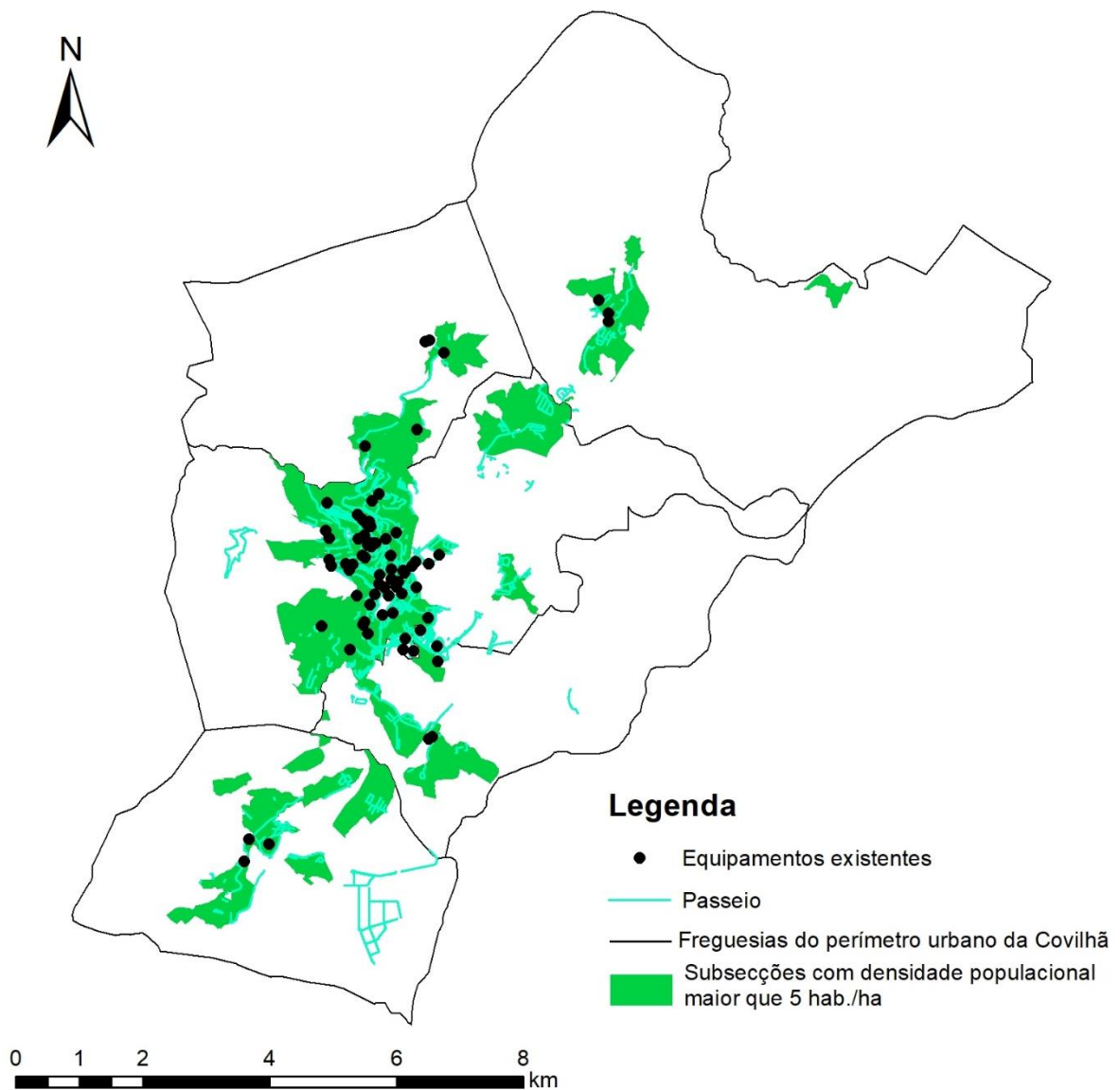


Figura 33. Mapa da análise comparativa entre a localização dos passeios, a concentração da população residente e a localização dos equipamentos (polos geradores de viagens) no perímetro urbano da Covilhã.

Uma análise importante para uma cidade que se desenvolve em encosta, é quanto a inclinação longitudinal dos percursos. Esta análise foi feita com recurso ao Modelo Digital do Terreno (MDT) com 5 metros de resolução espacial (tamanho da célula). A partir das cotas dos extremos de cada segmento da rede pedonal e respetivo comprimento, foi obtida a inclinação de cada via/percurso. A Figura 34 ilustra a inclinação dos seguimentos da rede pedonal do perímetro urbano da Covilhã.

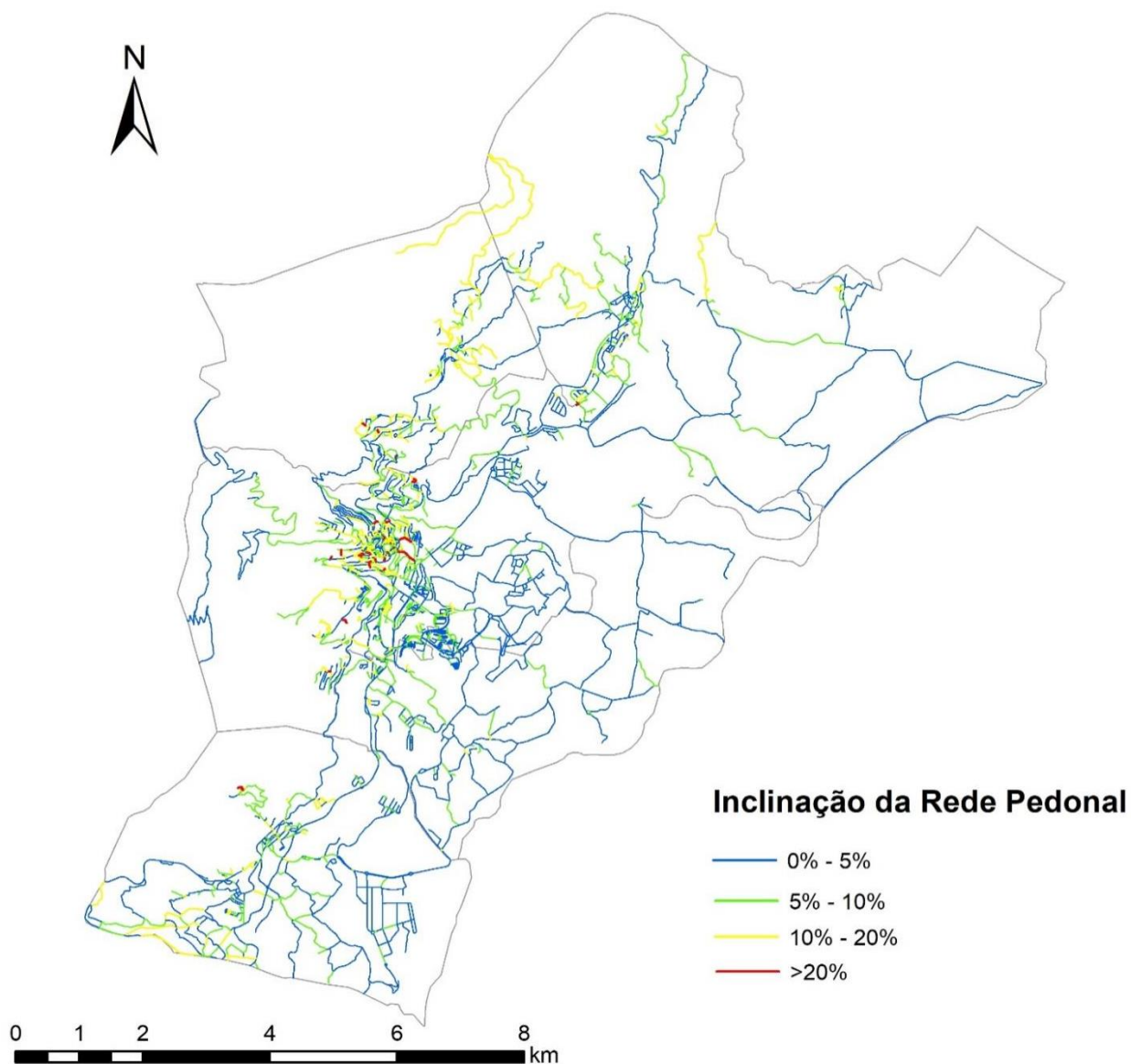


Figura 34. Mapa de inclinações da rede pedonal.

As velocidades pedonais em cada trecho foram definidas a partir do modelo *Tobler's Hiking Function* (Expressão 2). Para as escadarias, a velocidade usada foi a proposta por Fruin (1987), que indica que a velocidade média na subida de escadas é cerca de um terço da velocidade de caminhada sem qualquer inclinação, e para a descida a velocidade aumenta 10% em relação à velocidade de subida. Foi ainda determinada a velocidade em cada um dos elevadores a partir dos dados do tempo de viagem dos percursos efetuados pelos mesmos, como pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11. Velocidade dos Elevadores e Funiculares (Fonte: Nogueira, 2020).

Elevador/Funicular	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

A partir das velocidades pedonais de cada trecho é possível obter o tempo de viagem a considerar na análise espacial do potencial pedonal da infraestrutura. A Figura 35 e 36 apresentam os mapas de velocidades de circulação pedonal nos sentidos ascendentes e descendentes, para as vias do perímetro urbano da Covilhã.

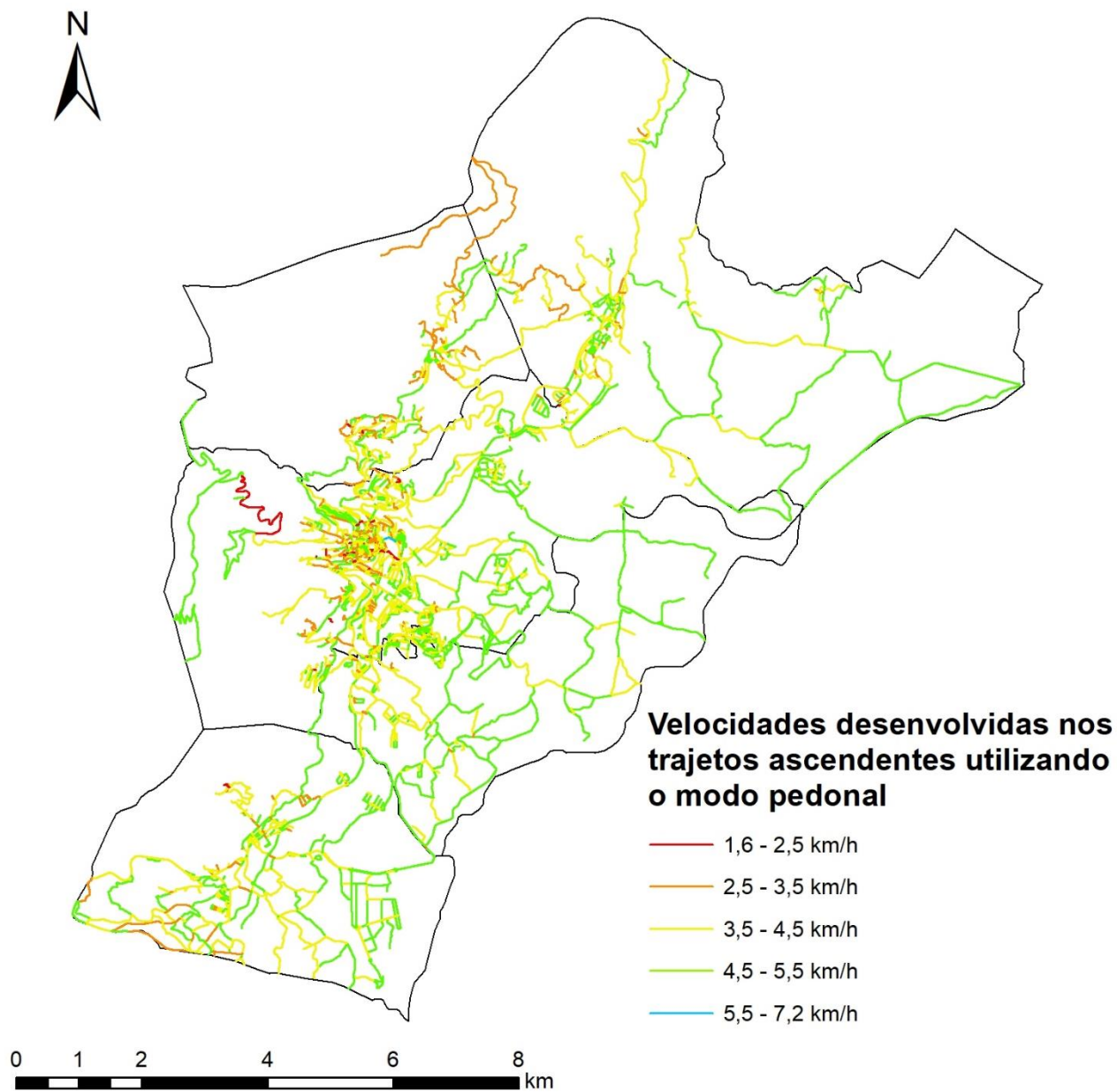


Figura 35. Mapa das velocidades desenvolvidas nos trajetos ascendentes utilizando o modo pedonal.

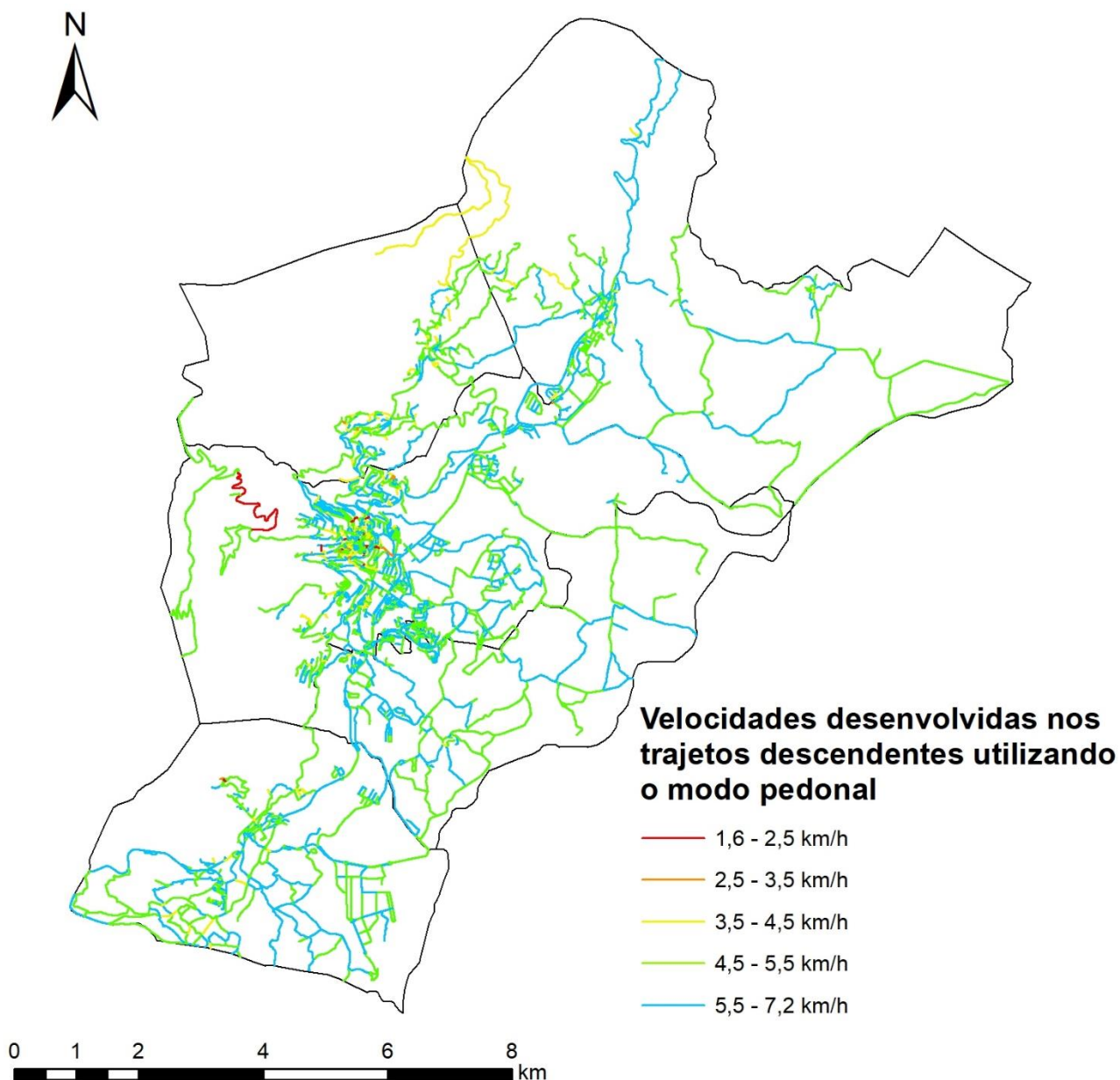


Figura 36. Mapa das velocidades desenvolvidas nos trajetos descendentes utilizando o modo pedonal.

Para o modo ciclável não foi feita a verificação da existência de vias de uso exclusivo para as bicicletas, pois, o perímetro urbano da Covilhã ainda não dispõe de uma rede efetivamente consolidada de ciclovias. À data do estudo a Câmara Municipal da Covilhã tem a decorrer a empreitada de obras da implantação da Ciclovía da Rede Ciclável da cidade, enquadrado no objetivo municipal de criar condições para a mobilidade suave traduzido na elaboração do Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável (PAMUS), integrado no Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano (PEDU) da Covilhã e no PAMUS das Beiras e Serra da Estrela (PAMUS-BSE, 2016). A Figura 37 ilustra as alterações idealizadas para incentivar a utilização de bicicletas no perímetro urbano da Covilhã.

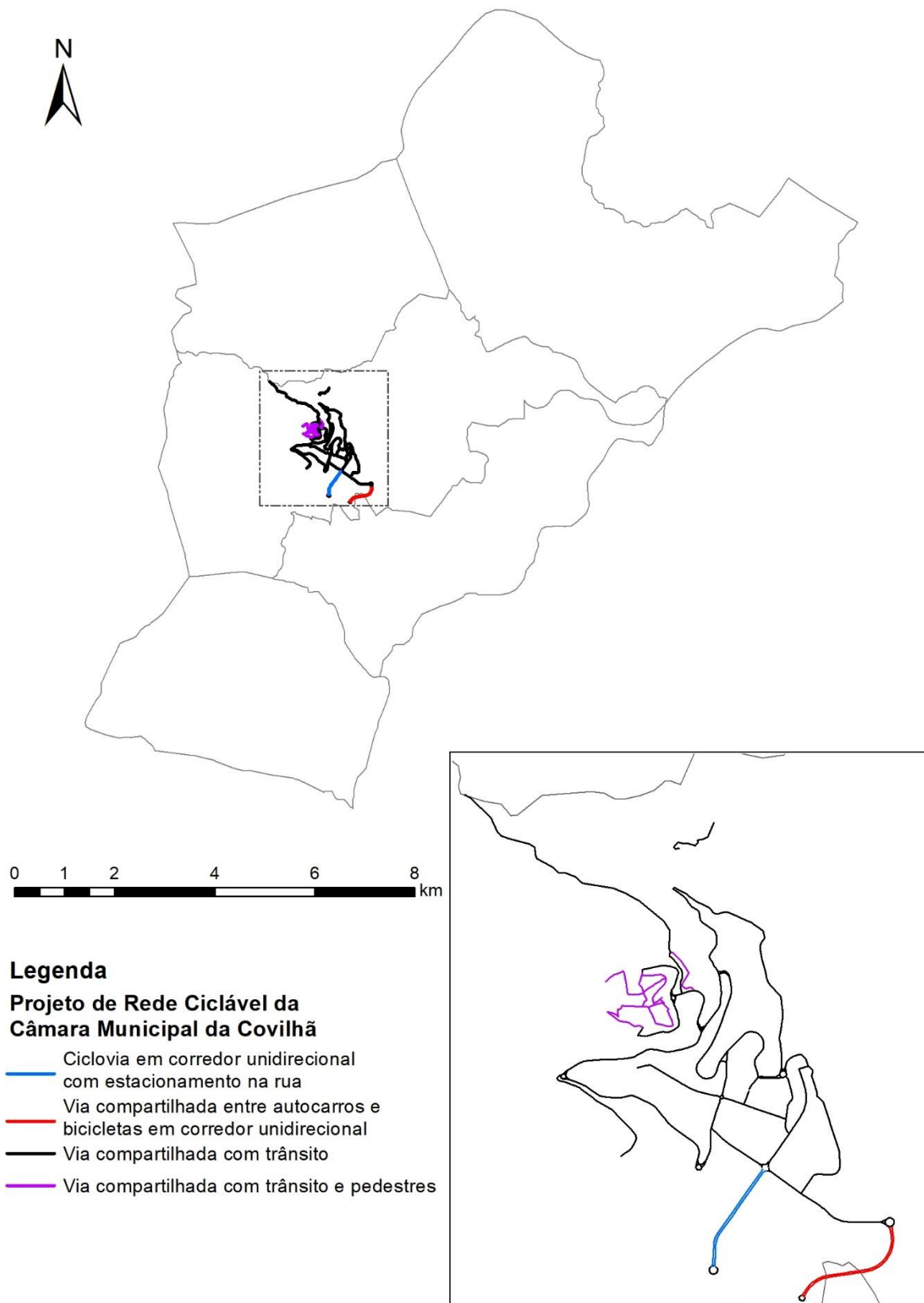


Figura 37. Projeto de rede ciclável da Câmara Municipal da Covilhã (Adaptado de: Câmara Municipal da Covilhã, 2017).

A análise da inclinação das vias da rede analisada para o modo ciclável é a mesma que a apresentada para o modo pedonal. Nesta análise foi feita a exclusão dos equipamentos de uso exclusivo por peões como os elevadores, pois ainda não dispõem de dispositivos que permitam o transporte de bicicletas, e as escadarias e pontes pedonais onde a condução da bicicleta é feita de forma pedonal.

As velocidades de circulação em bicicleta para cada trecho foram definidas com base nos valores obtidos por Flugel et al. (2019), que determinam a velocidade para bicicleta e para e-bike em função da declividade (ver Figura 8). A pesquisa de Flugel et al. (2019) foi elaborada para a cidade de Oslo, capital da Noruega que, apesar de se tratar de uma grande cidade, em alguns aspectos se assemelha a Covilhã, principalmente na sua topografia montanhosa. O estudo em questão apresenta velocidades para declividades entre 9% e -9%, que correspondem a valores bem próximos aos máximos considerados aceitáveis para o uso da bicicleta em viagens pendulares. Além da topografia similar, Oslo tem um clima continental húmido com temperaturas médias no verão entre 12° e 22° e no inverno entre -7° e -2°. Apesar da Covilhã apresentar temperaturas mais altas no verão e não tão baixas no inverno, as condições climáticas em geral são razoavelmente semelhantes para a prática dos modos suaves de transporte.

Com os valores obtidos por Flugel et al. (2019) foram elaborados gráficos de dispersão com o objetivo de chegar a dois modelos da velocidade, um para a bicicleta tradicional e outro para e-bikes, traduzidos pelas equações obtidas por regressão dos dados que verificassem o melhor ajuste aos valores de velocidade versus declividade. Tanto para bicicletas tradicionais quanto para e-bikes as equações de regressão mais aproximadas foram polinomiais de quarto grau, como pode ser observado nas Figuras 38 e 39, que apresentam os gráficos de dispersão e as linhas de tendência geradas e as respectivas equações.

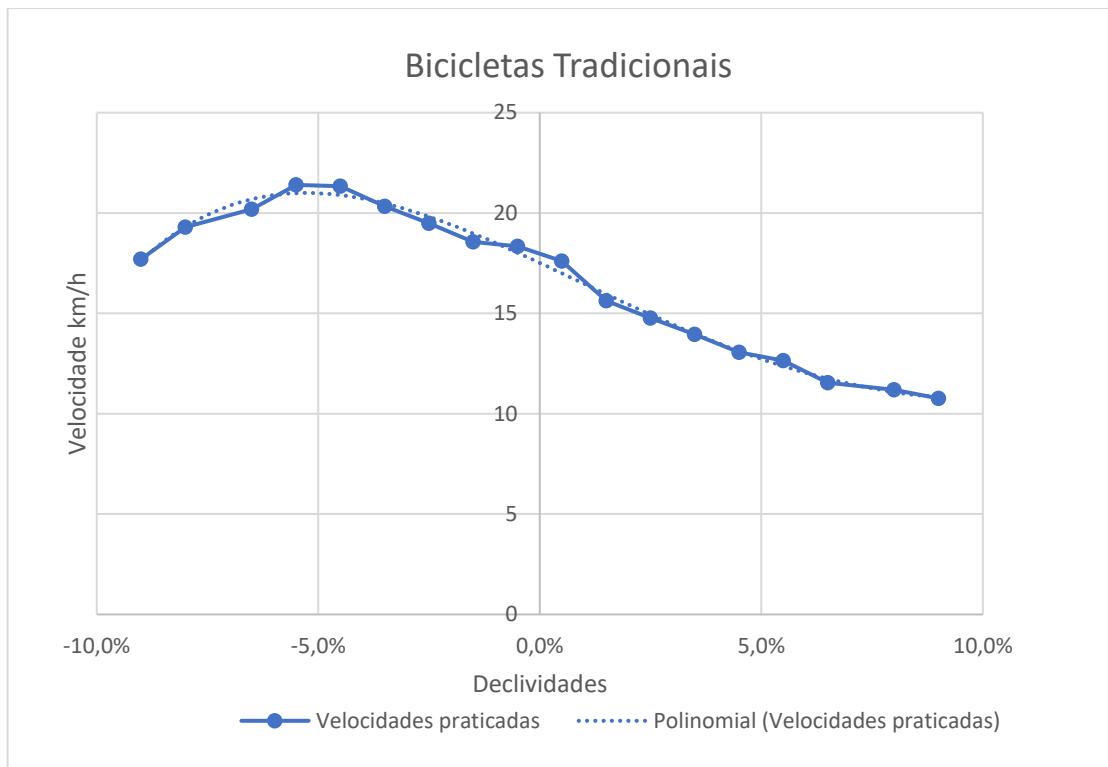


Figura 38. Gráfico com resultados de velocidade e linha de tendência para bicicletas tradicionais.

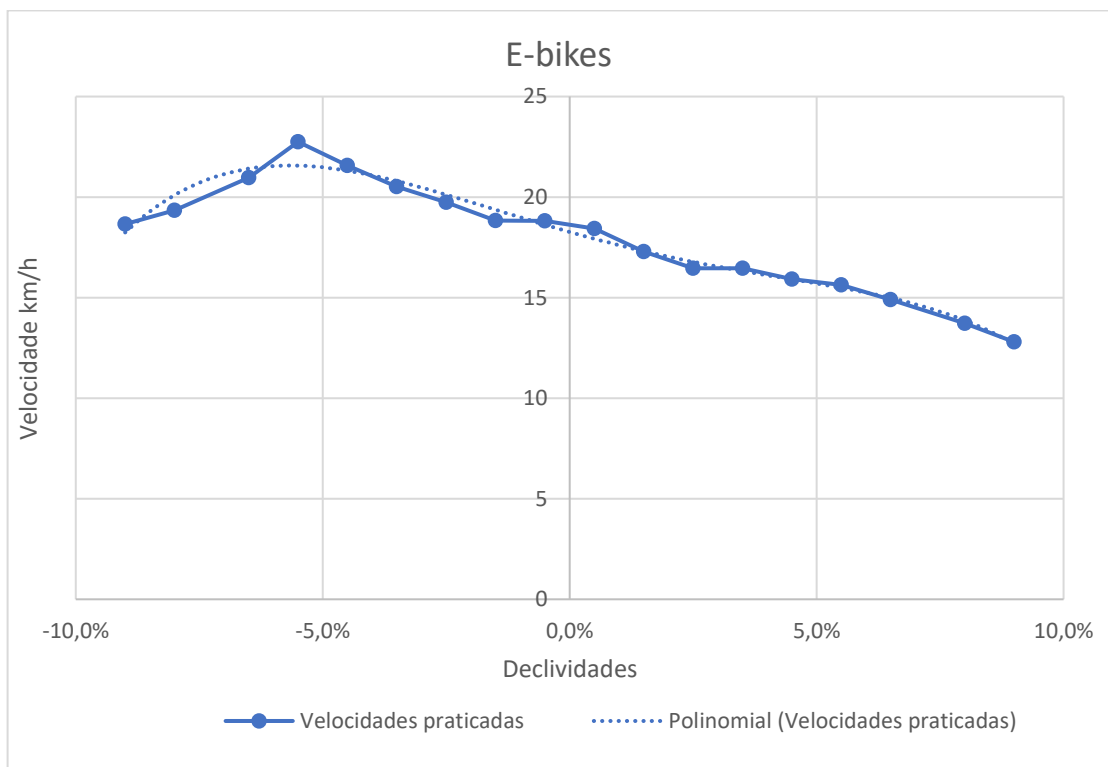


Figura 39. Gráfico com resultados de velocidade e linha de tendência para e-bikes.

A equação polinomial de quarto grau estabelecida para a obtenção da velocidade de bicicletas tradicionais gerou uma correlação de 0,9925 a partir da Expressão 13.

$$y = -25657x^4 + 7990,5x^3 - 198,27x^2 - 102,56x + 17,513 \quad (13)$$

A equação polinomial de quarto grau estabelecida para a obtenção da velocidade de e-bikes gerou uma correlação de 0,9733 a partir da Expressão 14.

$$y = -84821x^4 + 4819,7x^3 + 341,54x^2 - 69,808x + 18,269 \quad (14)$$

Onde:

y representa a velocidade em km/h.

x é referente à declividade em percentagem.

Os valores utilizados como referência para a velocidade de acordo com a declividade podem ser consultados no Anexo 2. A partir das velocidades de circulação com bicicleta de cada trecho é possível obter o tempo de viagem a considerar na análise espacial do potencial ciclável da infraestrutura. As Figuras 40 a 43 apresentam os mapas de velocidades desenvolvidas nos trajetos ascendentes e descendentes utilizando bicicleta tradicional e bicicleta elétrica na rede viária do perímetro urbano da Covilhã.

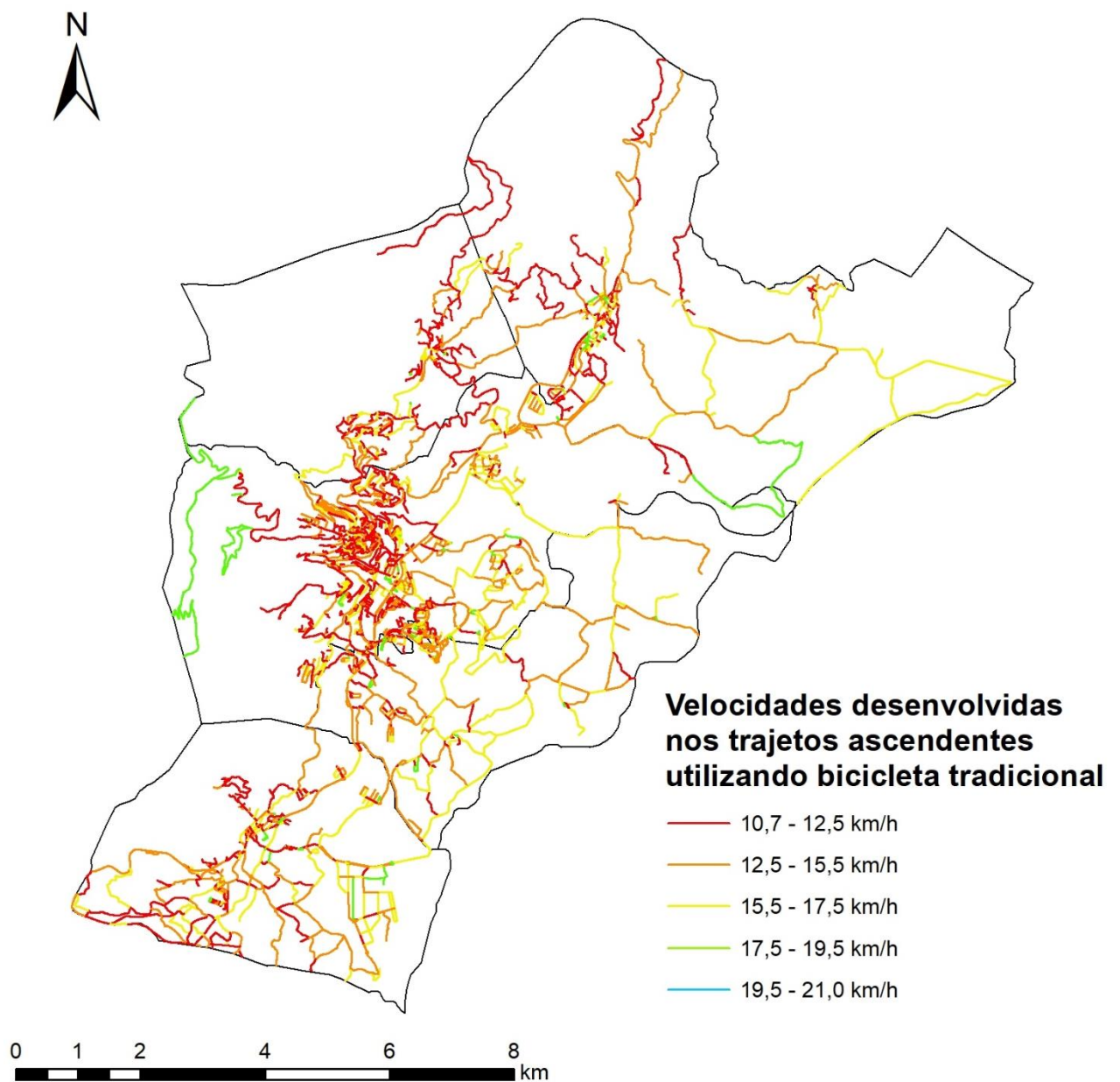


Figura 40. Mapa das velocidades desenvolvidas nos trajetos ascendentes utilizando bicicleta tradicional.

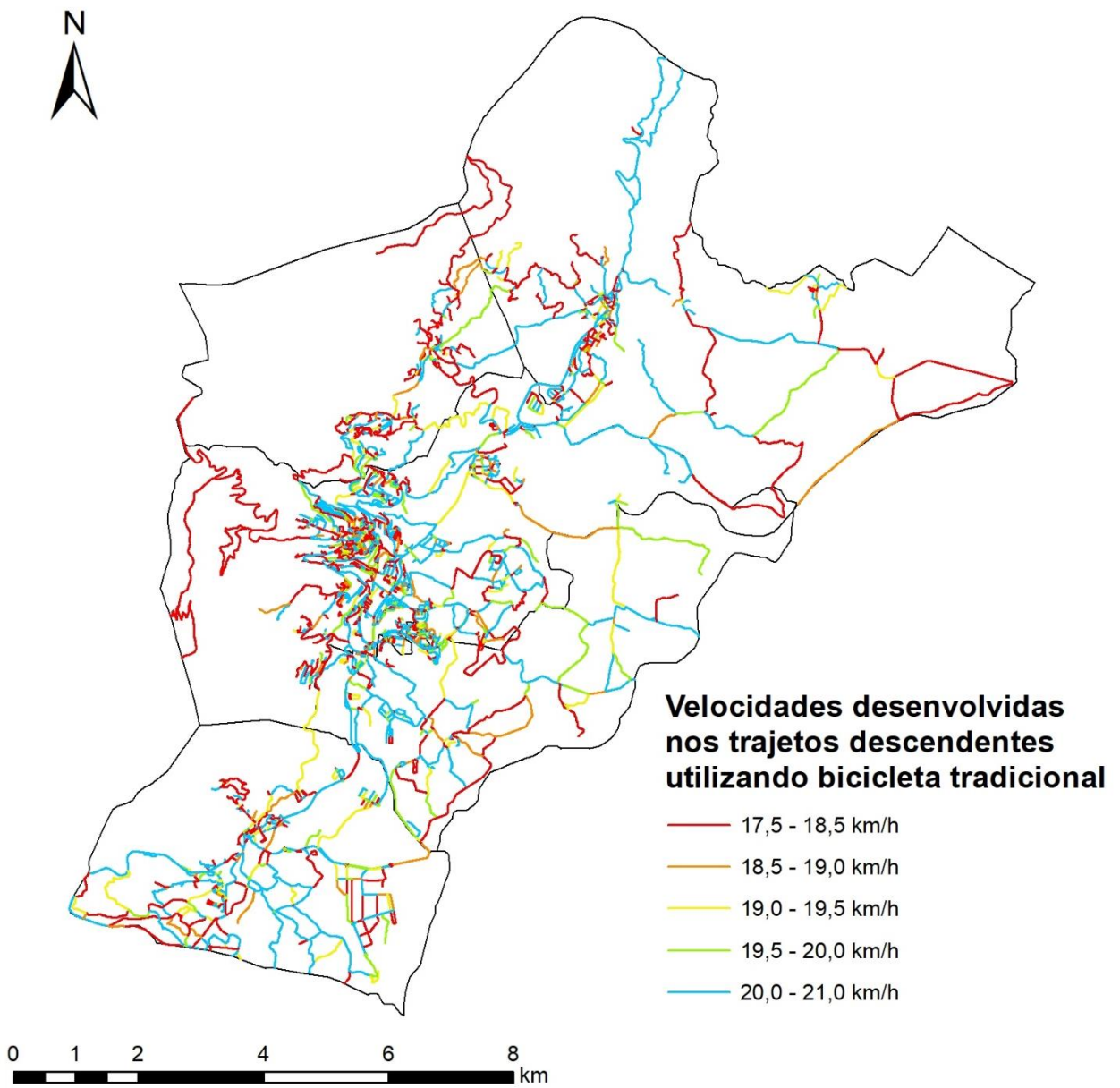


Figura 41. Mapa das velocidades desenvolvidas nos trajetos descendentes utilizando bicicleta tradicional.

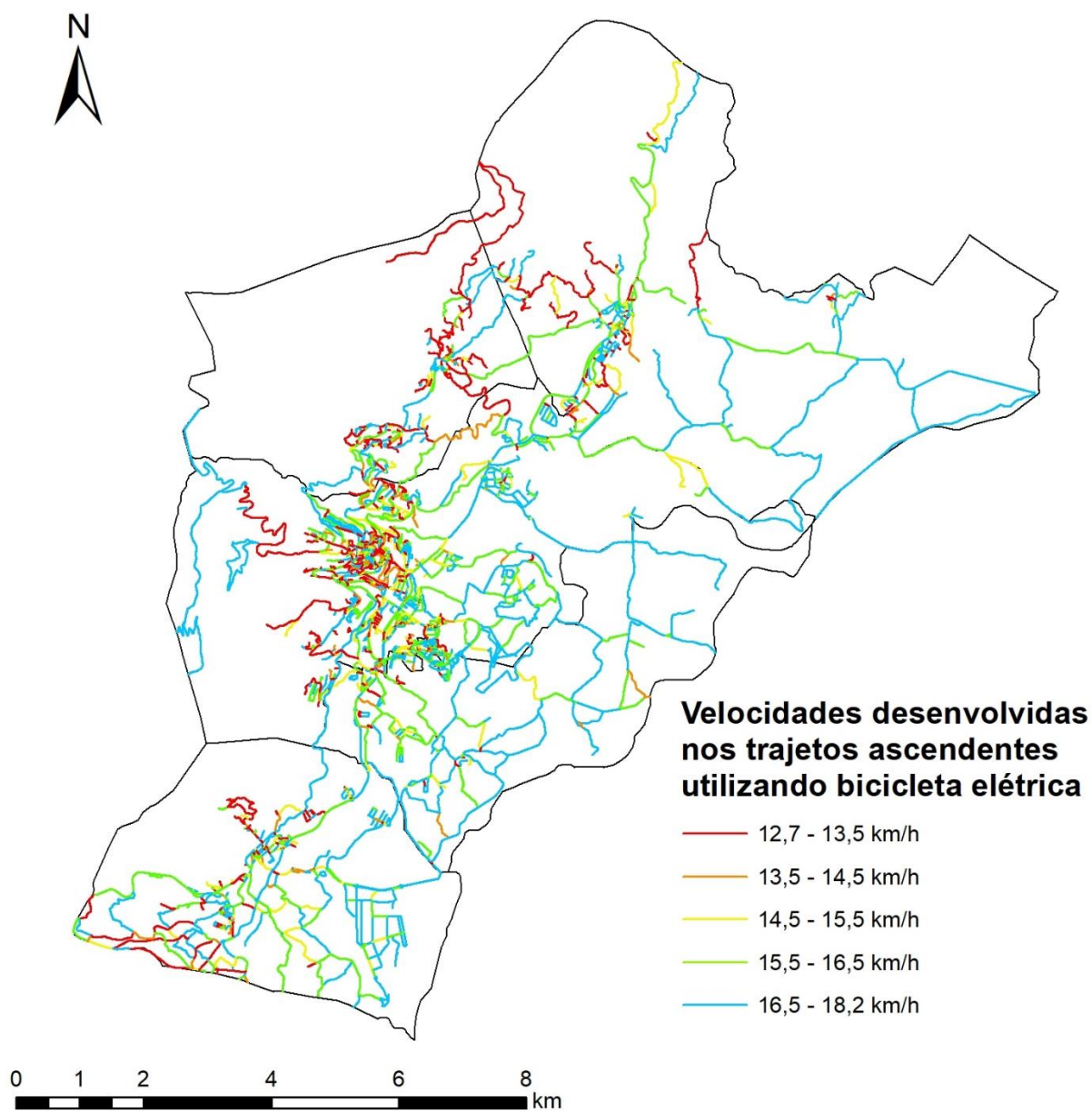


Figura 42. Mapa das velocidades desenvolvidas nos trajetos ascendentes utilizando bicicleta elétrica.

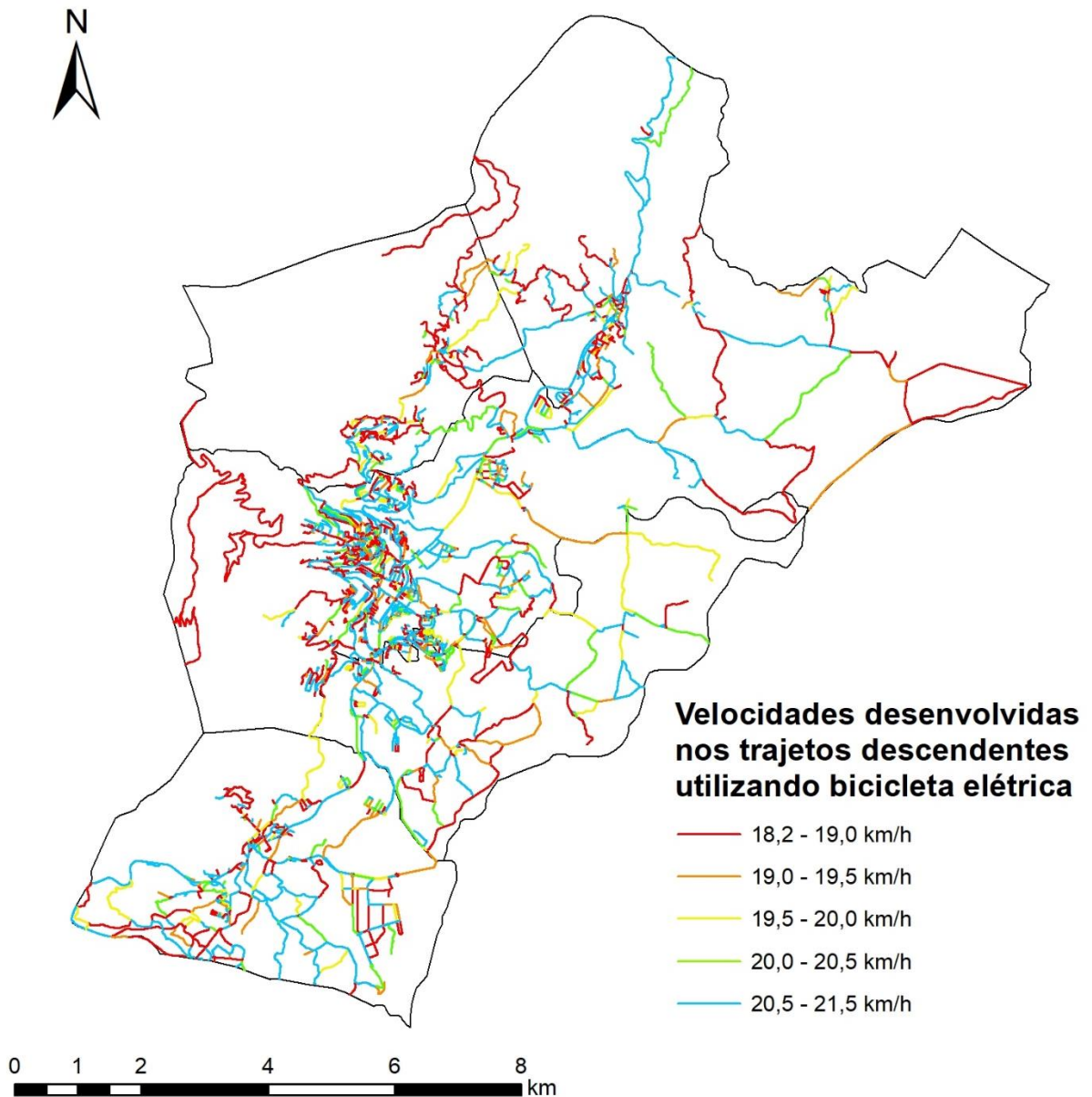


Figura 43. Mapa das velocidades desenvolvidas nos trajetos descendentes utilizando bicicleta elétrica.

5.2.3 Análise das áreas de influência

Após a preparação das redes viária e pedonal, foi utilizada a extensão *Network Analyst* do ArcGIS® para calcular as áreas de serviço (ou áreas de influência) dos diferentes polos geradores de tráfego considerados na análise. As análises foram feitas com base nas categorias de polos geradores apresentadas nas Tabelas 7 e 8.

A definição das áreas de influência foram feitas para rede viária e pedonal, considerando a circulação pedonal e ciclável (bicicleta tradicional e elétrica), em função do tempo de percurso. Foram escolhidos para análise os seguintes intervalos de tempo de percurso (tempo de viagem): entre 0 e 5 minutos, entre 5 e 10 minutos, entre 10 e 15 minutos e entre 15 e 20 minutos, com base em estudos anteriores realizados por Passos (2018) e Nogueira (2020). Os mesmos intervalos de valores de tempo foram utilizados para a análise pedonal e para a análise do uso de bicicleta, de forma a uniformizar os resultados e facilitar a comparação entre as deslocamentos pedonais, com bicicleta tradicional e com bicicleta elétrica.

Nas Figuras 44 a 46 são apresentadas as áreas de influência obtidas a partir dos equipamentos da categoria Educação considerando o tempo de percurso para o trajeto pedonal, para o trajeto utilizando bicicletas tradicionais e para e-bikes. As análises das áreas de influência para as restantes categorias de equipamentos foram efetuada de forma semelhante.

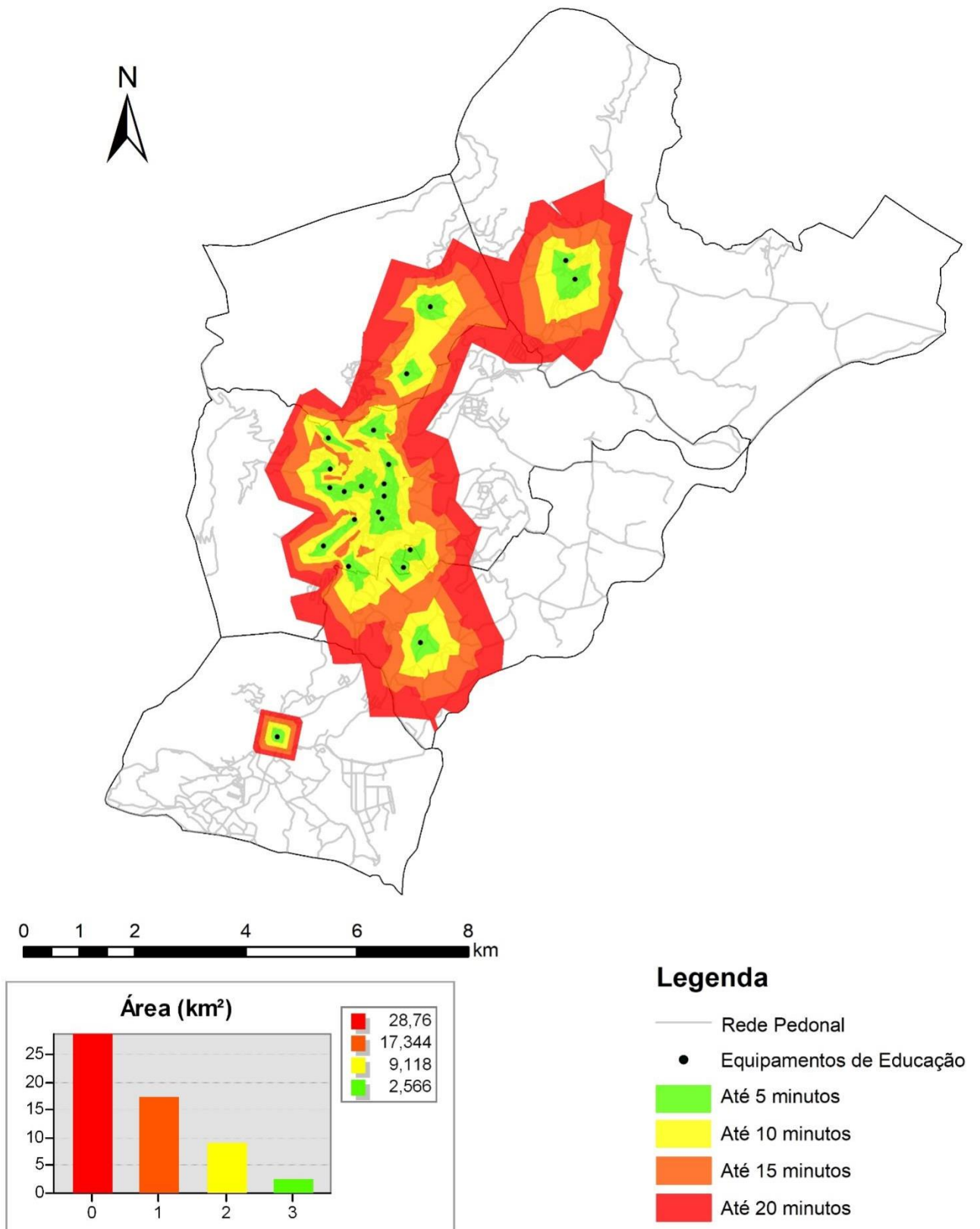


Figura 44. Mapa das áreas de influência de circulação pedonal em função do tempo de percurso para os equipamentos da categoria Educação.

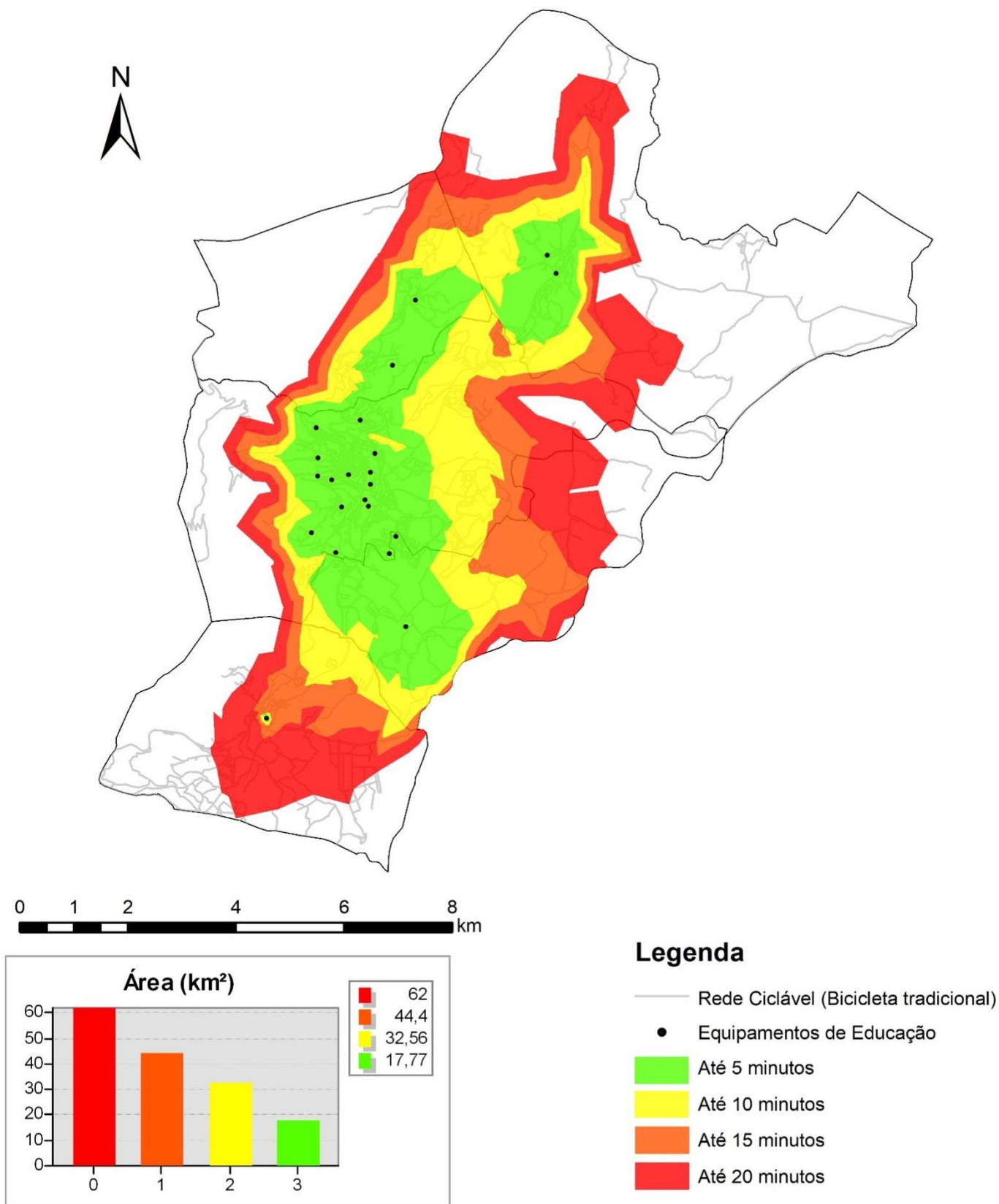


Figura 45. Mapa das áreas de influência de circulação com bicicleta tradicional em função do tempo de percurso para os equipamentos da categoria Educação.

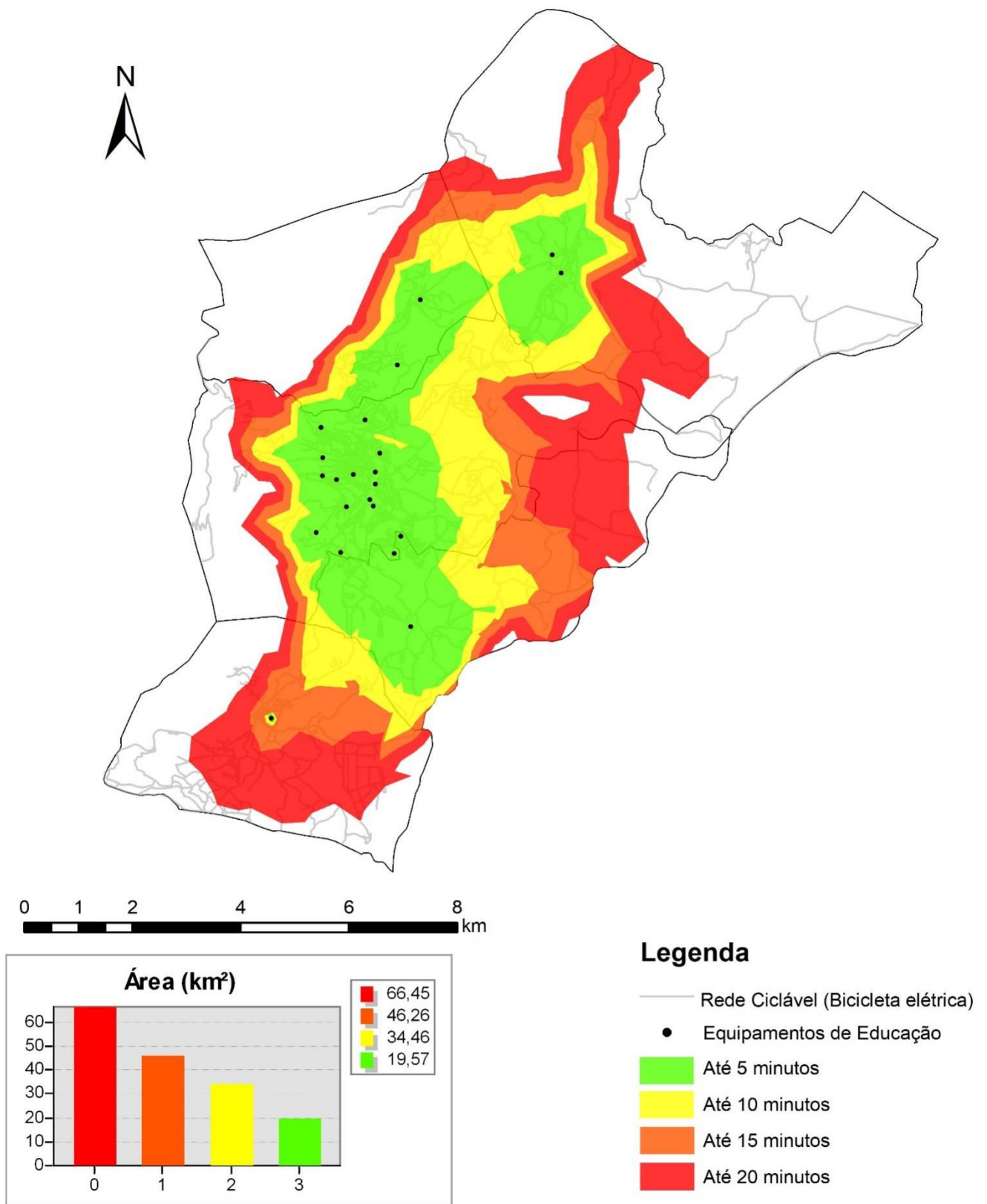


Figura 46. Mapa das áreas de influência de circulação com e-bikes em função do tempo de percurso para os equipamentos da categoria Educação.

A partir das áreas de influência criadas, foram atribuídas pontuações de acordo com a proximidade aos polos geradores. A metodologia de atribuição de pontos utilizada é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12. Pontuação atribuída às áreas de serviço.

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

O critério de pontuação utilizado considera que, quanto menor for o tempo de percurso, maior é a probabilidade de serem escolhidos os modos suaves para deslocação.

Em seguida é feita a conversão dos mapas das áreas de influência do formato vetorial para o formato raster, com o objetivo de atribuir o valor da pontuação a cada célula (pixel). Na conversão para raster foi utilizado o *Spatial Analyst* do ArcGIS®. Esta conversão permite a combinação dos resultados obtidos para cada categoria de equipamentos de forma a obter um único mapa de áreas de influência. As Figuras 47 a 49 ilustram os mapas com as pontuações atribuídas às áreas de influência da categoria Educação para a análise pedonal, para bicicletas tradicionais e para e-bikes, respetivamente, de acordo com as velocidades praticadas em cada modalidade.

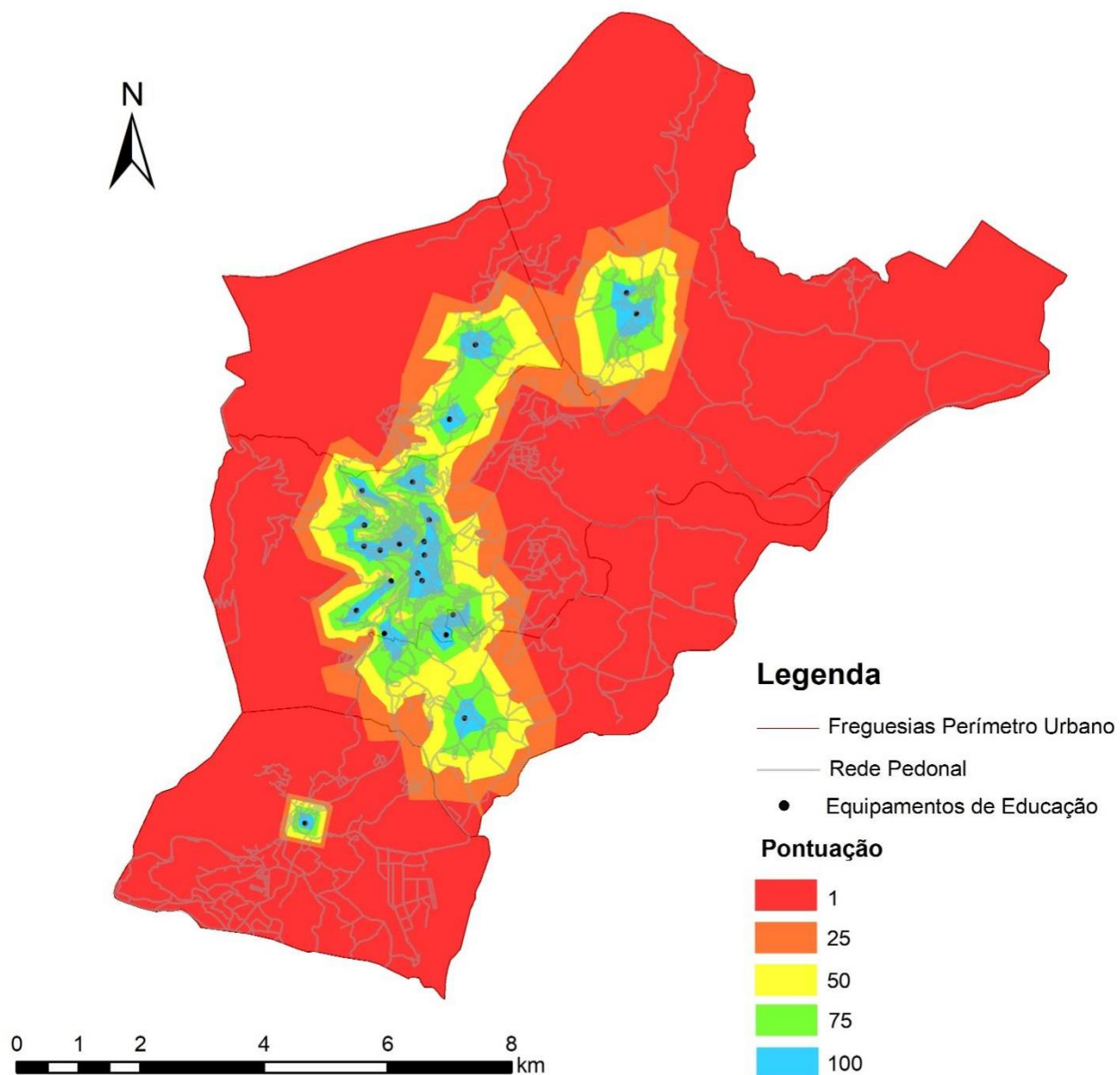


Figura 47. Mapa de pontuações para as áreas de influência dos equipamentos da categoria Educação para a circulação pedonal.

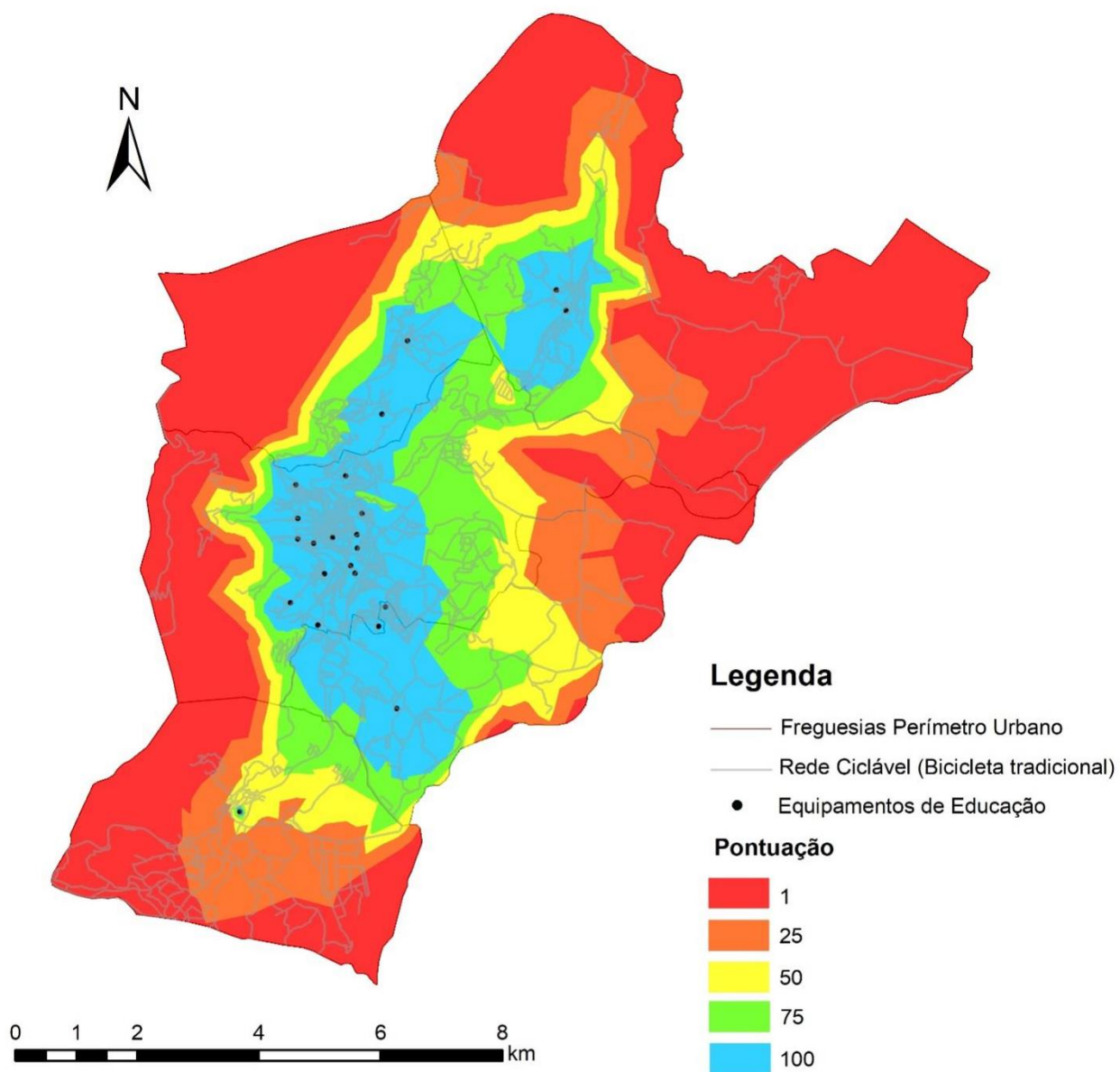


Figura 48. Mapa de pontuações para as áreas de influência dos equipamentos da categoria Educação para a circulação com bicicletas tradicionais.

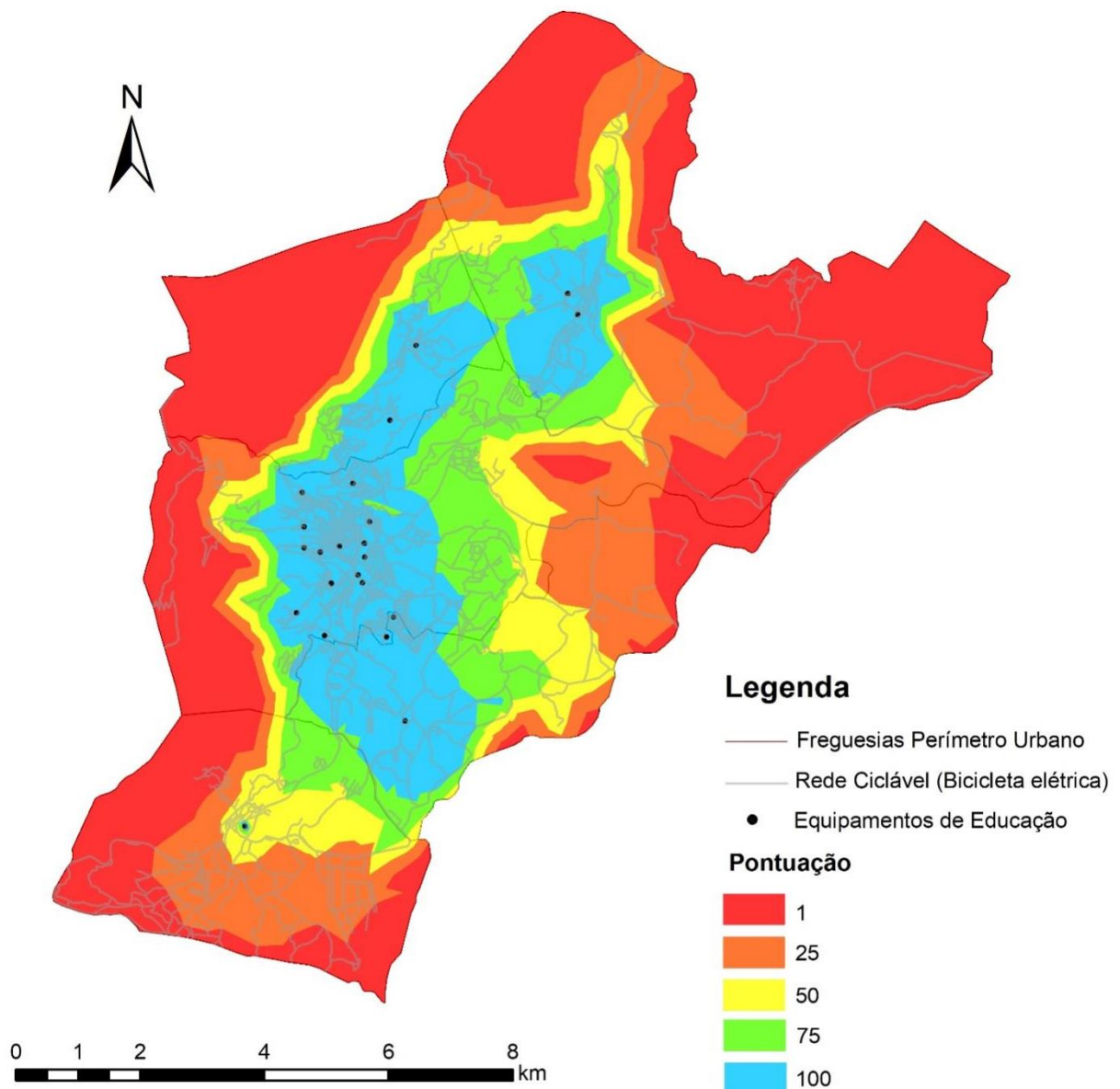


Figura 49. Mapa de pontuações para as áreas de influência dos equipamentos da categoria Educação para a circulação com e-bikes.

5.2.4 Análise Multicritério

Após a conversão da informação relativa aos Critérios 1 e 2 no formato raster, foi iniciada a análise multicritério. A análise foi feita separadamente para os três modos suaves de transporte considerados. Nesta análise foram considerados como critérios: a localização dos polos geradores de viagens (PG), a densidade populacional (DP) e as características da rede viária (RV).

Para atribuir os pesos de acordo com as categorias de equipamentos considerados no critério da localização dos polos geradores de viagens (PG), foram utilizados os resultados dos inquéritos realizados nos estudos anteriores de Passos (2018) e Nogueira (2020), que questionaram cidadãos comuns (população ativa) e especialistas na área dos Transportes e da Mobilidade sobre a atratividade de cada categoria de equipamento para uma potencial utilização dos modos suaves como meio de transporte. Através das respostas obtidas nos inquéritos foram determinados os pesos para cada subcritério (categoria de equipamento). A pontuação do grau de atratividade (numa escala de 1 a 10) foi considerada com representatividade de 10% no cálculo do peso total do critério, tendo-se obtido os valores apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13. Pesos dos subcritérios dos polos geradores para o modo pedonal (Nogueira, 2020).

Categoria	Pesos
Transportes	0,71
Saúde	0,68
Educação	0,75
Serviços	0,62
Comércio	0,63
Turismo	0,60
Cultura	0,54
Lazer	0,65
Desporto	0,58

Tabela 14. Pesos dos subcritérios dos polos geradores para o modo ciclável (Passos, 2018).

Categoria	Pesos
Transportes	0,69
Saúde	0,70
Educação	0,79
Serviços	0,68
Comércio	0,71
Turismo	0,80
Cultura	0,73
Lazer	0,82
Desporto	0,78

Após a definição dos pesos dos subcritérios foi utilizada a Expressão 15 para definir o valor do critério 1 de acordo com a influência de cada categoria do equipamento.

$$PG = \sum_i^n \frac{w_n \times i_n}{n} \quad (15)$$

Onde:

PG representa o critério da localização dos polos geradores de viagens.

w é referente ao peso de cada subcritério.

i é a pontuação das áreas de influência de cada subcritério.

n é o número de subcritérios.

As Figura 50 a 52 apresentam os resultados da aplicação da Expressão 15 para a determinação do critério 1 para cada um dos modos de transporte considerados.

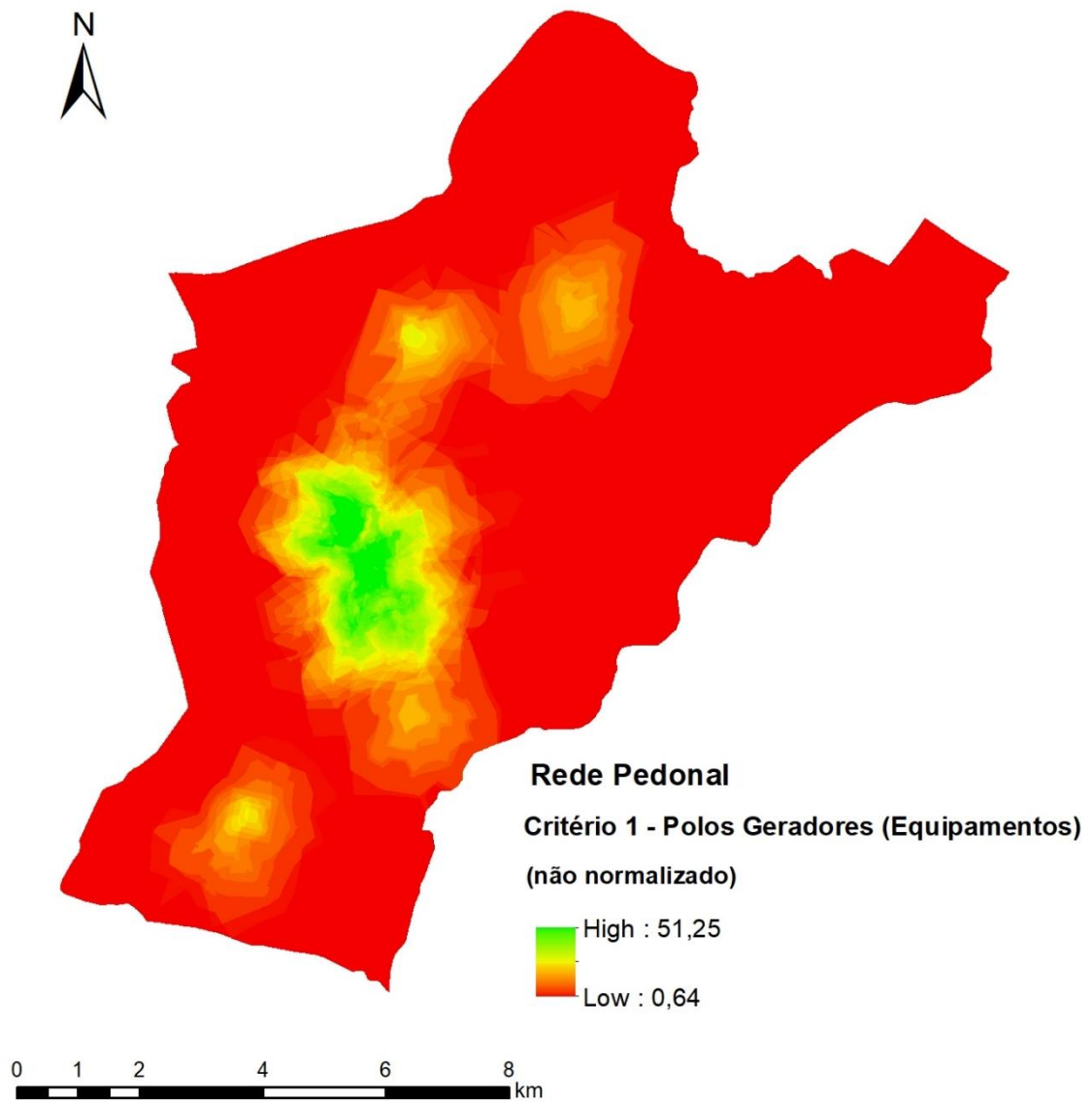


Figura 50. Mapa dos resultados obtidos para o Critério 1 - Localização dos polos geradores de viagem, para a modalidade pedonal (não normalizado).

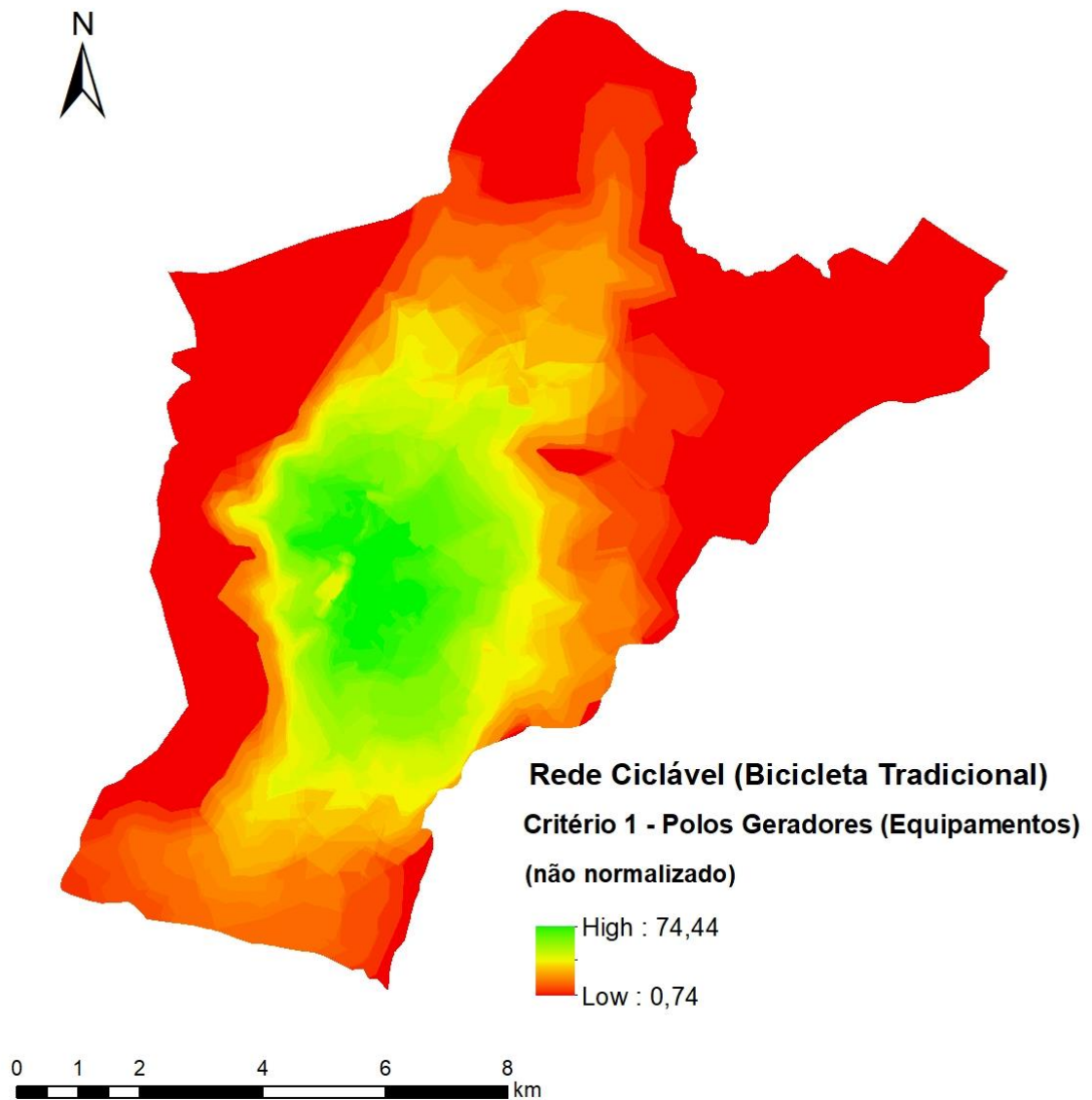


Figura 51. Mapa dos resultados obtidos para o Critério 1 – Localização dos polos geradores de viagens para a modalidade bicicleta tradicional (não normalizado).

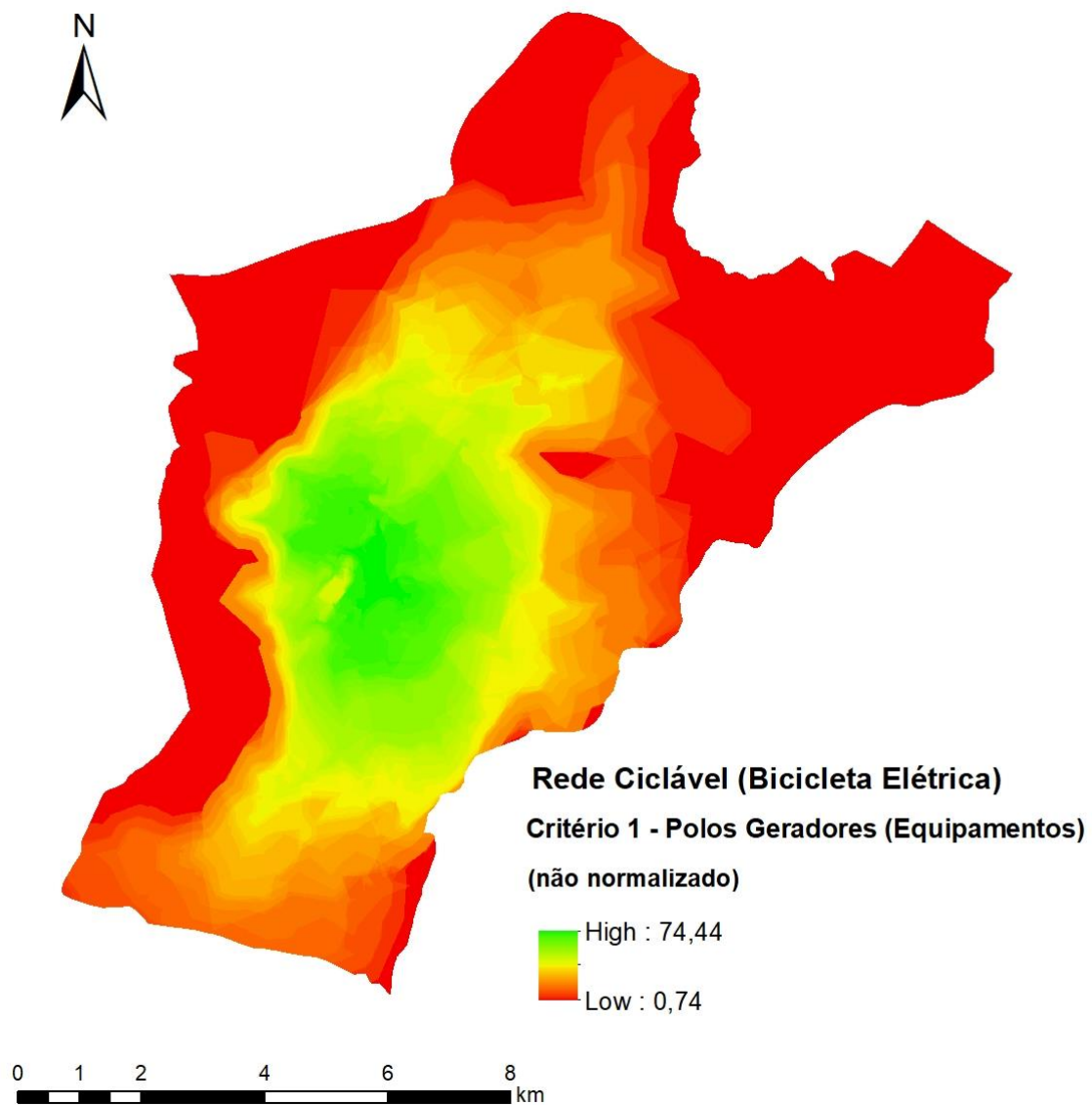


Figura 52. Mapa dos resultados obtidos para o Critério 1 - Localização dos polos geradores de viagens para a modalidade e-bikes (não normalizado).

A partir dos resultados obtidos para os critérios PG e DP, foi feita a normalização para uma escala de 0 a 100 utilizando a Expressão 16.

$$x_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \times 100 \quad (16)$$

Onde:

x_i representa o valor do pixel normalizado.

R_i é o valor do pixel a normalizar.

R_{max} e R_{min} são os valores máximos e mínimos para o critério.

Os mapas das Figura 53 a 55 apresentam os resultados com valores normalizados para o critério 1 (Localização dos polos geradores de viagens). O mapa da Figura 56 apresenta os resultados com valores normalizados para o critério 2 (Densidade Populacional).

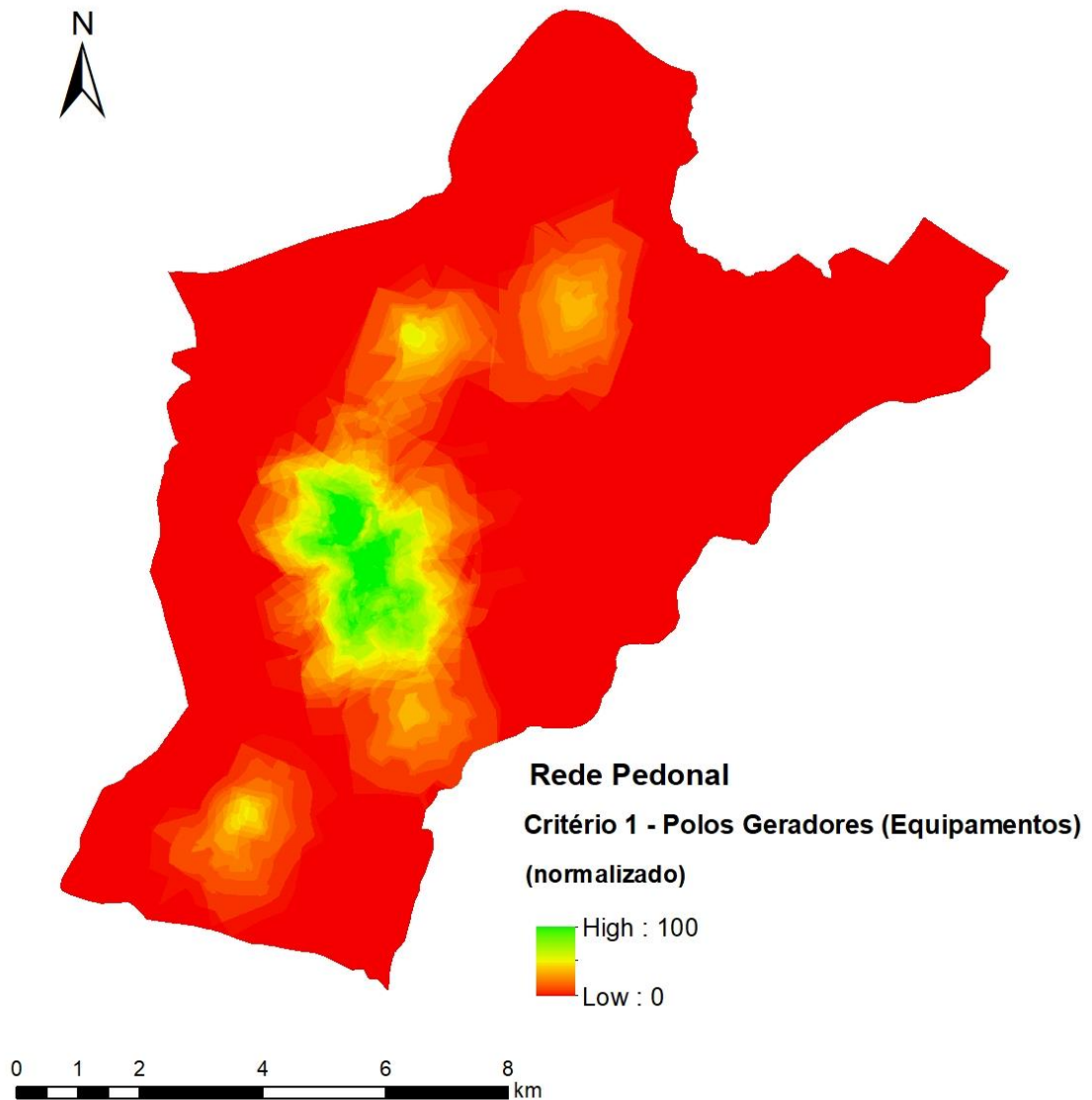


Figura 53. Mapa dos resultados obtidos para o Critério 1 - Localização dos polos geradores de viagem, para a modalidade pedonal (normalizado).

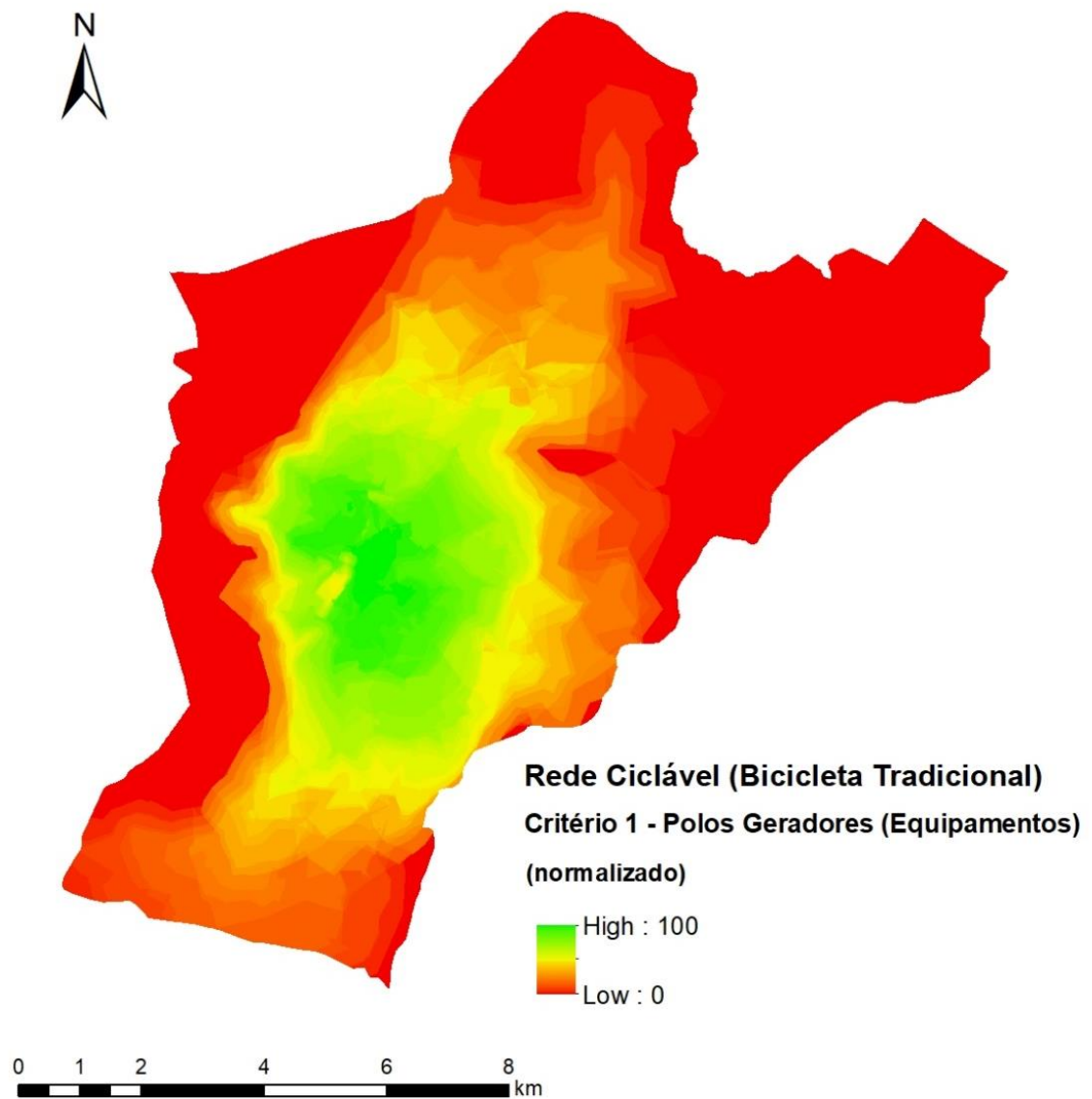


Figura 54. Mapa dos resultados obtidos para o Critério 1 – Localização dos polos geradores de viagens para a modalidade bicicleta tradicional (normalizado).

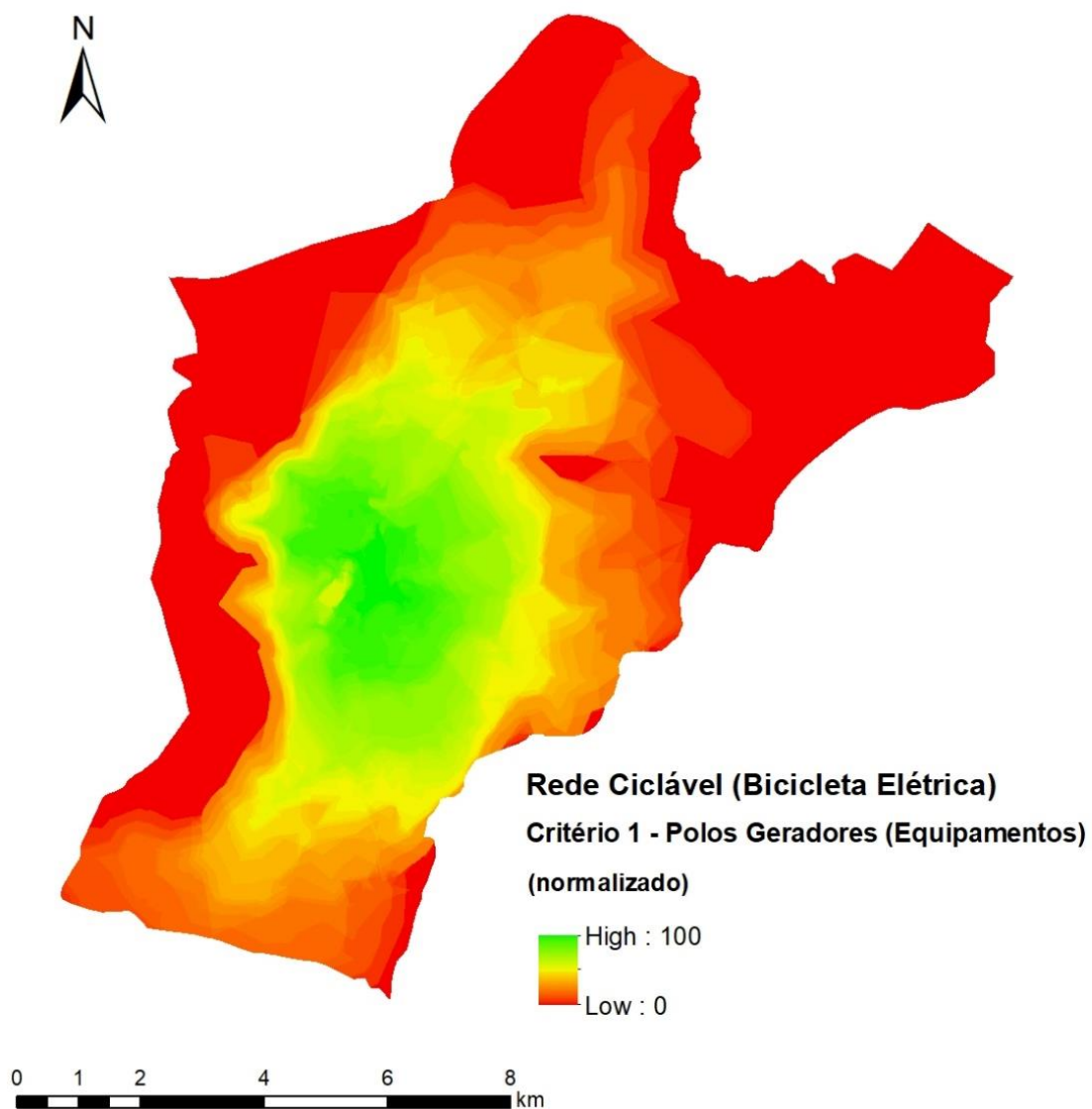


Figura 55. Mapa dos resultados obtidos para o Critério 1 - Localização dos polos geradores de viagens para a modalidade e-bikes (normalizado).

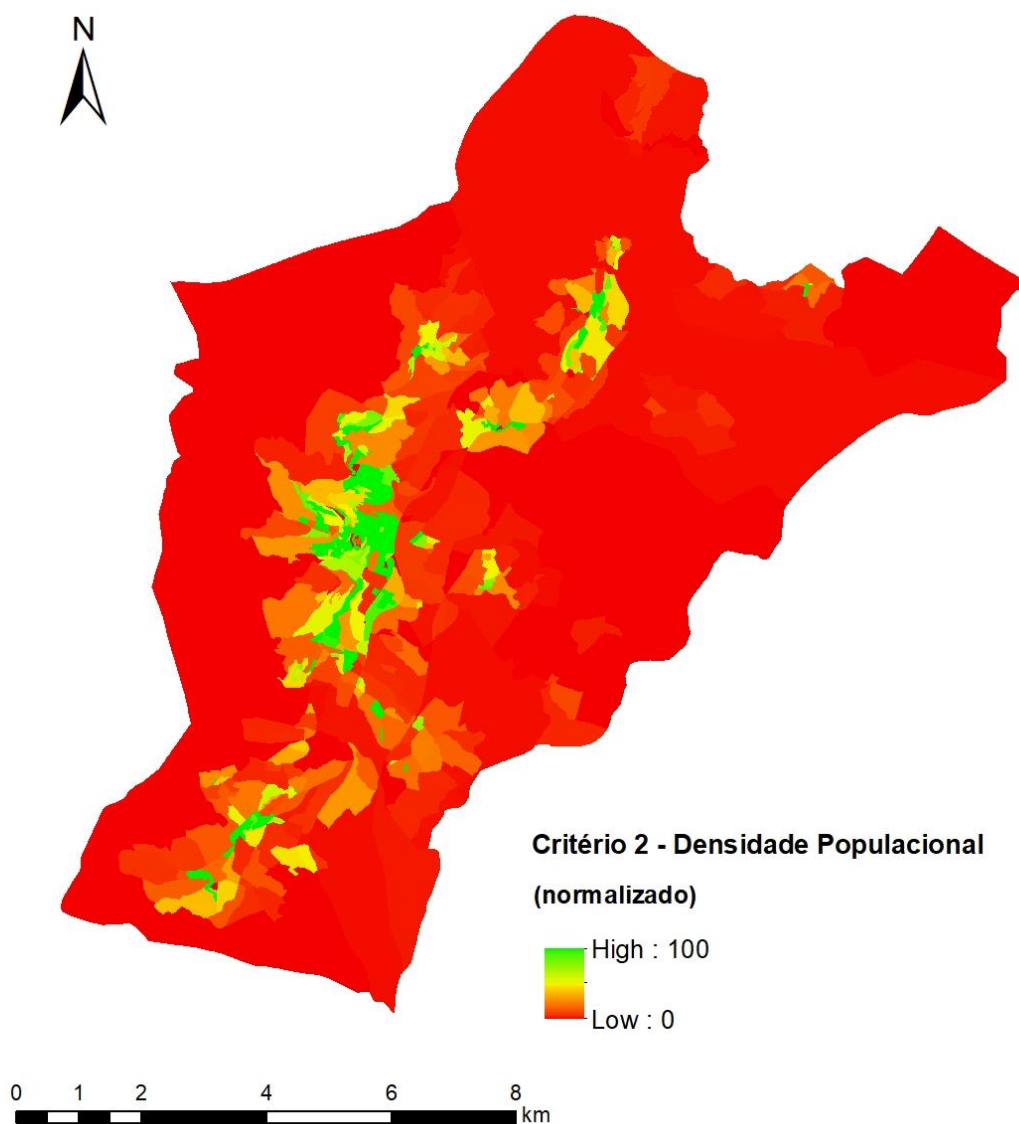


Figura 56. Mapa dos resultados obtidos para o Critério da Densidade Populacional (normalizado).

O critério 3 (Rede Viária) corresponde a uma restrição e é traduzido por uma variável binária (0;1). Para análise do modo pedonal, por meio da restrição, não foram consideradas as vias coletoras, onde a circulação pedonal não é recomendada, mas foram incluídos percursos exclusivamente pedonais (elevadores, funicular, escadarias, pontes pedonais, caminhos em jardins e parques).

Para incorporar a verificação da localização dos passeios na análise, foi aplicada uma penalização no índice de potencial pedonal. Existem diversos estudos (Cambra, 2012), (Demaj, 2020), (Shaaban, 2019), (Silva P. A., 2008), (Wicramasinghe & Dissanayake, 2017) que apontam para um aumento da segurança e da mobilidade pedonal quando há passeio na via, contudo, não foram encontrados valores concretos que permitam quantificar essa melhoria. Diversos fatores relacionados com as características dos passeios, como a largura, a regularidade do pavimento, os obstáculos presentes, a inclinação, a continuidade, a iluminação e a limpeza, podem influenciar nesse aumento da atratividade que o passeio vai representar em determinada via. Nesta análise, a título de experiência, foi utilizado o fator de 25% para representar a penalização das vias que não dispõem de passeios. Este fator pode ser adaptado pelo gestor da rede ou agentes de intervenção na gestão e promoção da mobilidade pedonal e da infraestrutura de acordo com a realidade do local. Considera-se ainda que, quando não existe passeio, os peões circulam junto à rede viária ou nas bermas das estradas.

Na análise da rede viária para o uso das bicicletas tradicionais também não foram consideradas as vias coletoras e foi atribuído o valor “1” para as vias com inclinação longitudinal inferior a 5%. Para a bicicleta elétrica também foram retiradas as vias coletoras por meio da restrição “0” e foi atribuído o valor “1” para as vias com inclinação inferior a 10%.

Em seguida, os critérios foram aplicados por Combinação Linear Ponderada através da Expressão 17, 18 ou 19, obtendo uma pontuação que traduz o potencial da infraestrutura (pedonal ou ciclável) da via.

$$PP = (p_{PG} \times PG + p_{DP} \times DP) \times RP \times m_p \quad (17)$$

$$PCt = (p_{PG} \times PG + p_{DP} \times DP) \times RCt \quad (18)$$

$$PCe = (p_{PG} \times PG + p_{DP} \times DP) \times RCe \quad (19)$$

Onde:

PP representa o potencial da infraestrutura pedonal, PCt representa o potencial da infraestrutura para bicicleta tradicional e PCe representa o potencial da infraestrutura para bicicleta elétrica, em uma escala de 0 a 100, onde “0” corresponde a segmentos sem potencial e “100” corresponde a segmentos com elevado potencial.

p_{PG} é o peso a atribuir ao critério dos polos geradores de viagens (0-1).

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

p_{DP} é o peso a atribuir ao critério da densidade populacional (0-1).

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

RP corresponde ao valor do critério da rede pedonal, RCt corresponde ao valor do critério da rede ciclável analisada para bicicleta tradicional, RCE corresponde ao valor do critério da rede ciclável analisada para bicicleta elétrica, (onde “0” é aplicado para segmentos da rede viária sem características para mobilidade considerada e de “1” é aplicado para segmentos com características relevante para a circulação para o modo considerado).

m_p é a minoração a aplicar à rede pedonal nas vias onde não há passeio.

Para analisar isoladamente a mobilidade dos modos pedonal, bicicleta tradicional e bicicleta elétrica, foram adotados os pesos de 70% para o valor do critério PG e de 30% para o valor do critério DP (Expressões 20, 21, 22). Esta decisão teve como base os resultados de estudo dos estudos de Passos (2018) e Nogueira (2020), que por meio de inquéritos realizados junto a representantes da Câmara Municipal da Covilhã, concluíram que o critério PG seria mais representativo e deveria apresentar um peso superior ao critério DP.

$$PP = (0,70 \times PG + 0,30 \times DP) \times RP \times m_p \quad (20)$$

$$PCt = (0,70 \times PG + 0,30 \times DP) \times RCt \quad (21)$$

$$PCE = (0,70 \times PG + 0,30 \times DP) \times RCE \quad (22)$$

Para a obtenção de um índice de mobilidade suave das vias da Covilhã, foram feitas combinações entre os resultados dos índices de Potencial de Mobilidade Pedonal e de Mobilidade Ciclável (bicicletas tradicionais), e de forma semelhante, dos índices de Potencial de Mobilidade Pedonal e de Mobilidade Ciclável (bicicletas elétricas) através da Expressão (12).

Os pesos atribuídos a cada tipo de modo de transporte foram definidos através de inquéritos realizados a dois grupos, um formado por especialistas da área de mobilidade urbana e outro composto por representantes da Câmara Municipal da Covilhã, responsáveis pela gestão da infraestrutura da cidade. O inquérito, em formato online, questionou quanto a relevância de um modo suave de transporte em relação ao outro nas deslocações pendulares, e ainda solicitou a quantificação dessa relação. Foram recebidas 3 respostas de representantes da Câmara Municipal e 10 respostas de especialistas (Ver Anexo 3). Estes resultados apontaram para consideração das seguintes combinações de pesos na combinação dos modos pedonal e ciclável (bicicleta

tradicional): 60% para PP e 40% para PCt, 50% para PP e 50% para PCt e 40% para PP e 60% para PCt, aplicados de acordo com a Expressão 23

$$PMS = 0,60xPP + 0,4xPCt \quad (23)$$

E de forma semelhante, 3 combinações de pesos para a associação entre os modos pedonal e ciclável (bicicleta elétrica): 60% para PP e 40% para PCe, 50% para PP e 50% para PCe e 40% para PP e 60% para PCe, aplicados de acordo com a Expressão 24

$$PMS = 0,60xPP + 0,4xPCe \quad (24)$$

5.2.5 Resultados e discussão

Os resultados obtidos com a análise do potencial pedonal, do potencial ciclável com bicicleta tradicional e elétrica e do potencial de mobilidade suave com as diferentes combinações de pesos entre os modos considerados, são apresentados nas Tabela 15 a 17 e nas Figuras 57 a 65.

Tabela 15. Quadro resumo dos resultados da análise dos potenciais pedonal e ciclável da rede viária e pedonal do perímetro urbano da Covilhã (quanto à extensão da rede).

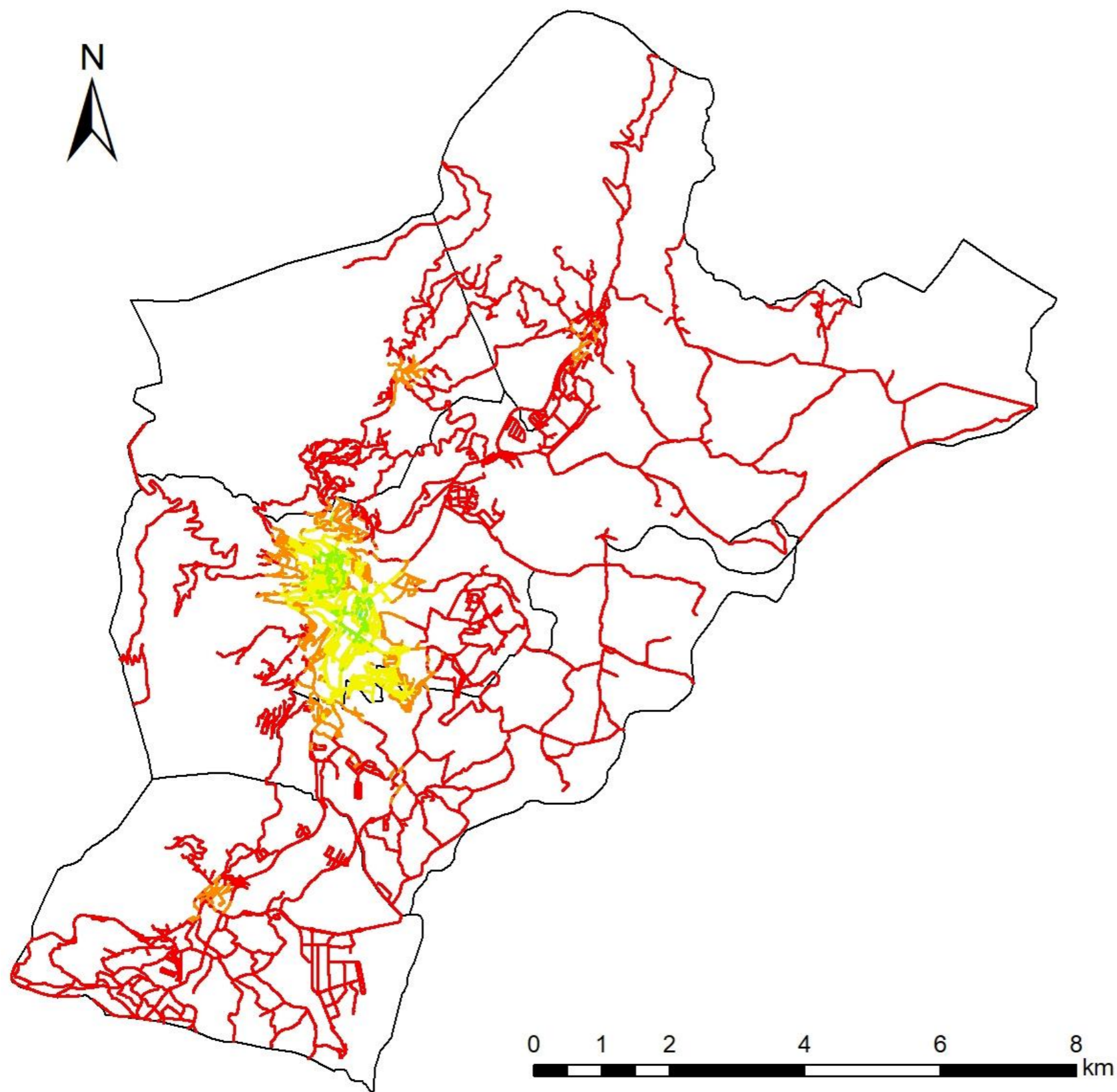
Potencial	Pedonal				Ciclável (tradicional)				Ciclável (elétrica)			
	km		%		km		%		km		%	
Sem Potencial	0,00	334,79	0,00%	84%	173,10	293,50	43,62%	74%	77,67	234,49	19,57%	59%
Muito reduzido	286,95		72,00%		65,02		16,39%		80,14		20,20%	
Reduzido	47,84		12,00%		55,38		13,96%		76,68		19,32%	
Médio	51,62		12,95%		57,42		14,47%		81,33		20,50%	
Elevado	12,06		3,03%		45,54		11,48%		80,28		20,23%	
Muito elevado	0,06		0,01%		0,32		0,08%		0,68		0,17%	
Total	398,53	398,53	100%	100%	396,78	396,78	100%	100%	396,78	396,78	100%	100%

Tabela 16. Quadro resumo dos resultados da análise do potencial de mobilidade suave pedonal e de bicicleta tradicional da rede viária e pedonal do perímetro urbano da Covilhã (quanto à extensão da rede).

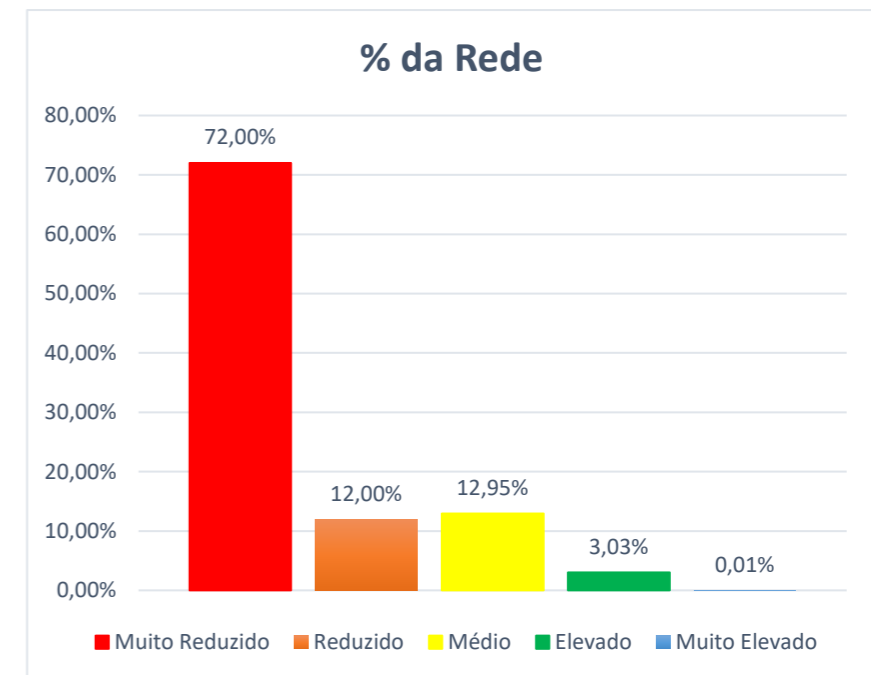
Pedonal + Ciclável (bicicleta tradicional)	Análise 60%Ped_40%Trad				Análise 50%Ped_50%Trad				Análise 40%Ped_60%Trad			
	km		%		km		%		km		%	
Sem Potencial	0,00	349,24	0,00%	88%	0,00	346,49	0,00%	87%	0,00	340,72	0,00%	86%
Muito reduzido	255,58		64,41%		244,58		61,64%		241,06		60,75%	
Reduzido	93,66		23,61%		101,91		25,68%		99,66		25,12%	
Médio	37,57		9,47%		37,88		9,55%		39,87		10,05%	
Elevado	9,83		2,48%		12,24		3,08%		16,02		4,04%	
Muito elevado	0,12		0,03%		0,16		0,04%		0,16		0,04%	
Total	396,76	396,76	100%	100%	396,77	396,77	100%	100%	396,77	396,77	100%	100%

Tabela 17. Quadro resumo dos resultados da análise do potencial de mobilidade suave pedonal e de bicicleta elétrica da rede viária e pedonal do perímetro urbano da Covilhã (quanto à extensão da rede).

Pedonal + Ciclável (bicicleta elétrica)	Análise 60%Ped_40%Elét				Análise 50%Ped_50%Elétr				Análise 40%Ped_60%Elétr			
	km		%		km		%		km		%	
Sem Potencial	0,00		0,00%		0,00		0,00%		0,00		0,00%	
Muito reduzido	223,25		56,26%		199,76		50,34%		178,77		45,05%	
Reduzido	97,04	320,29	24,46%	81%	113,87	313,63	28,70%	79%	124,60	303,37	31,40%	76%
Médio	57,83		14,57%		58,36		14,71%		61,48		15,49%	
Elevado	18,53		4,67%		24,64		6,21%		31,77		8,01%	
Muito elevado	0,13	76,49	0,03%	19%	0,16	83,16	0,04%	21%	0,16	93,41	0,04%	24%
Total	396,78	396,78	100%	100%	396,79	396,79	100%	100%	396,78	396,78	100%	100%



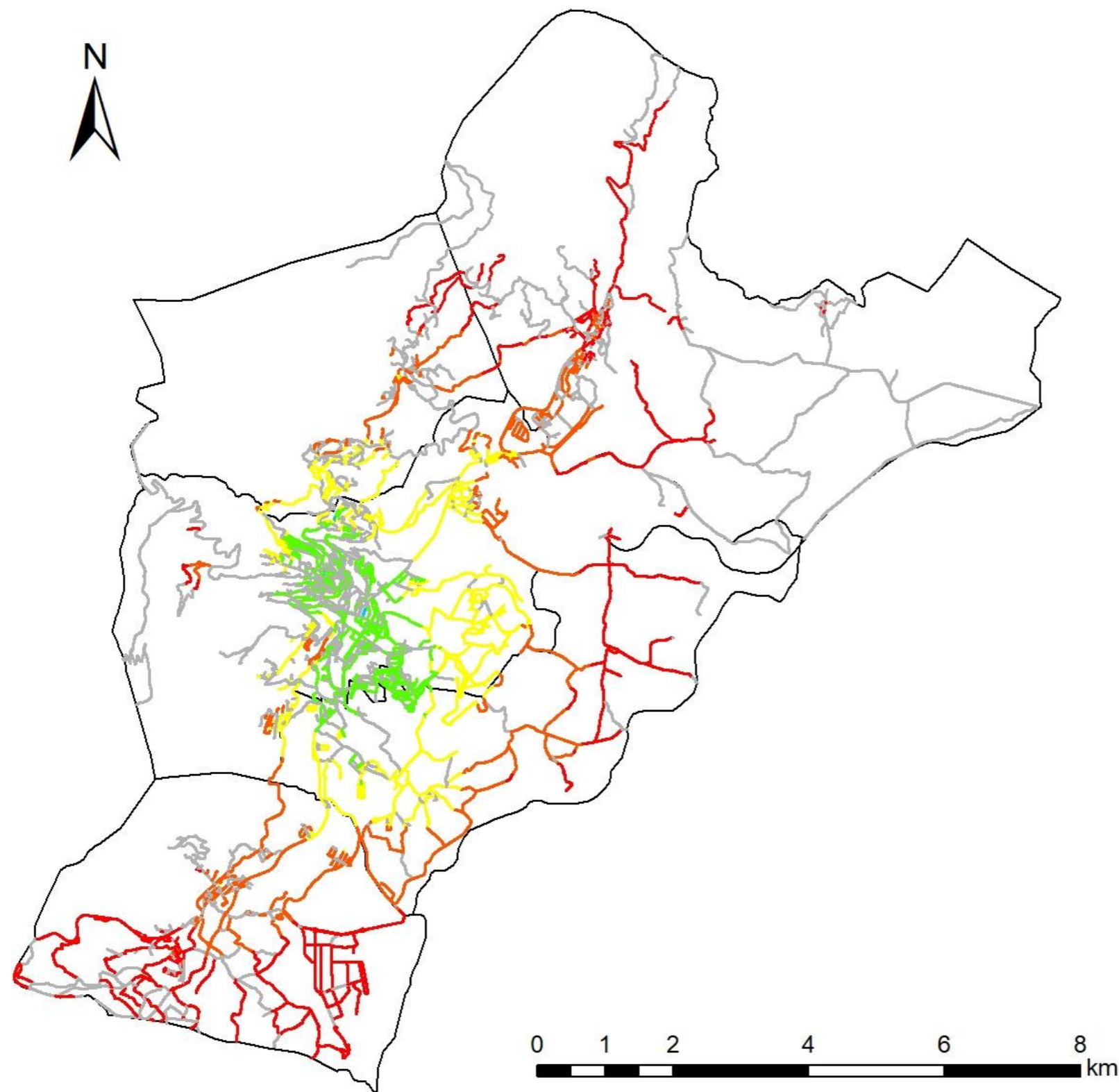
Potencial Pedonal



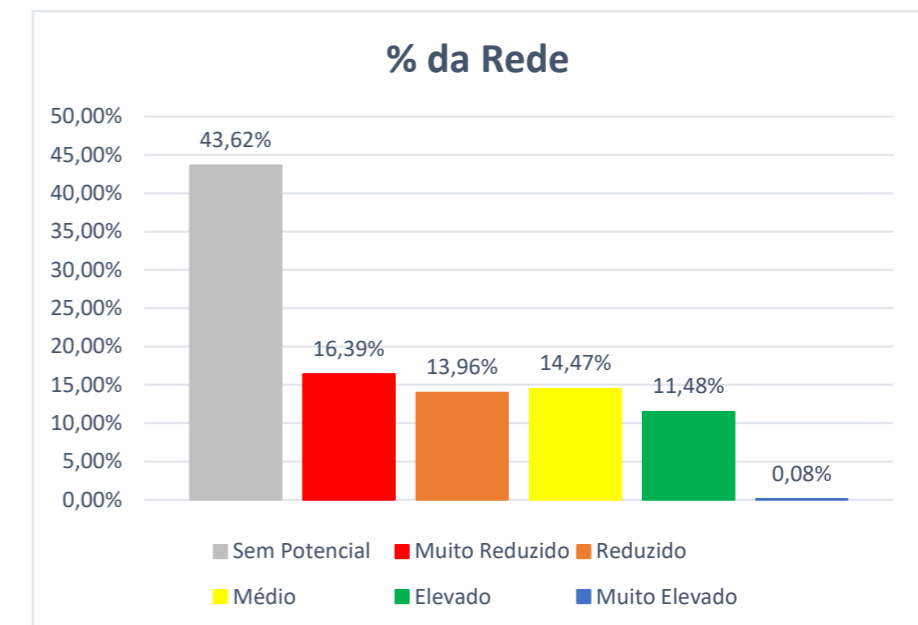
Legenda

- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 57. Mapa do potencial da infraestrutura pedonal do perímetro urbano da Covilhã.



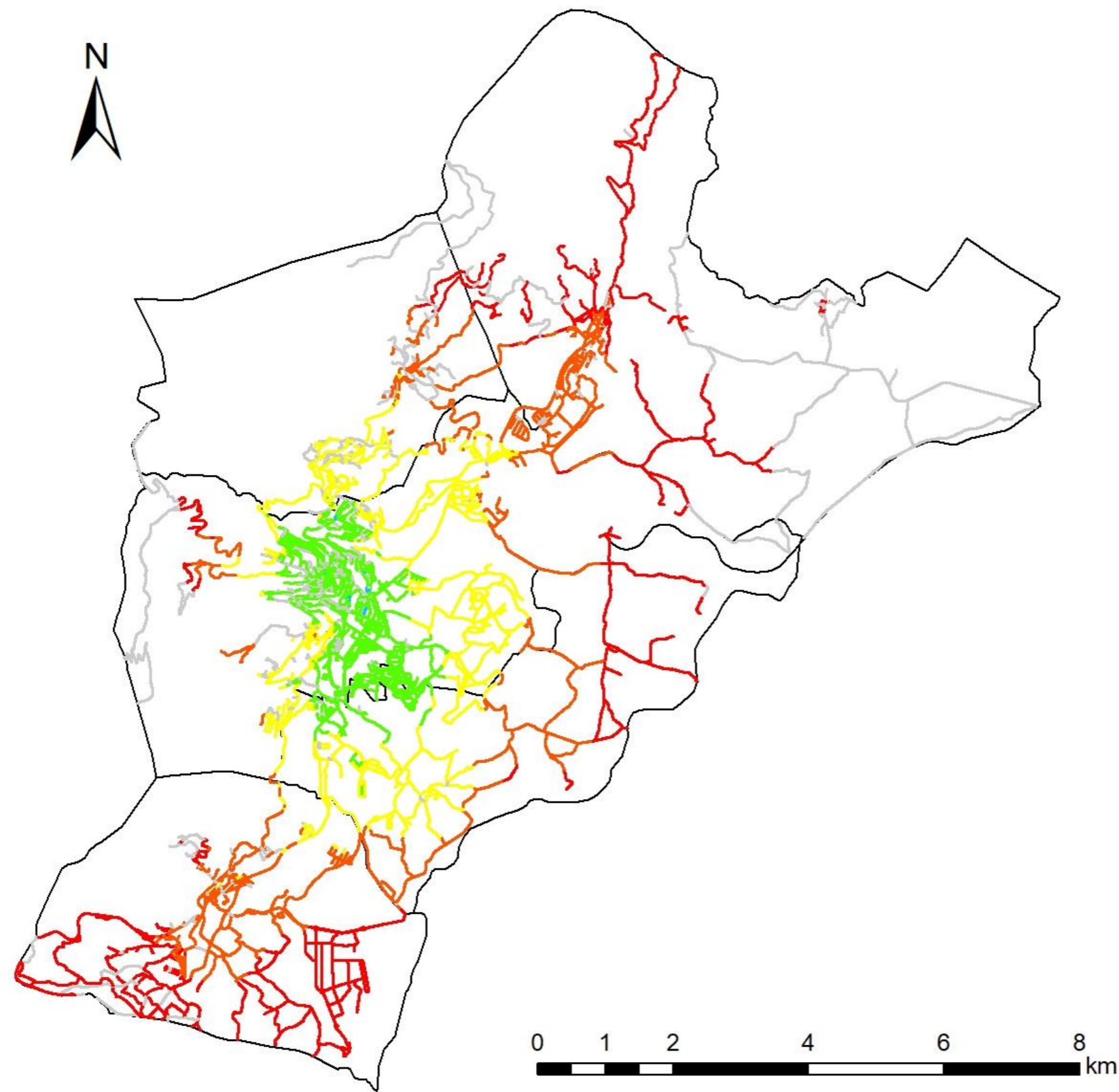
Potencial Ciclável (Bicicleta Tradicional)



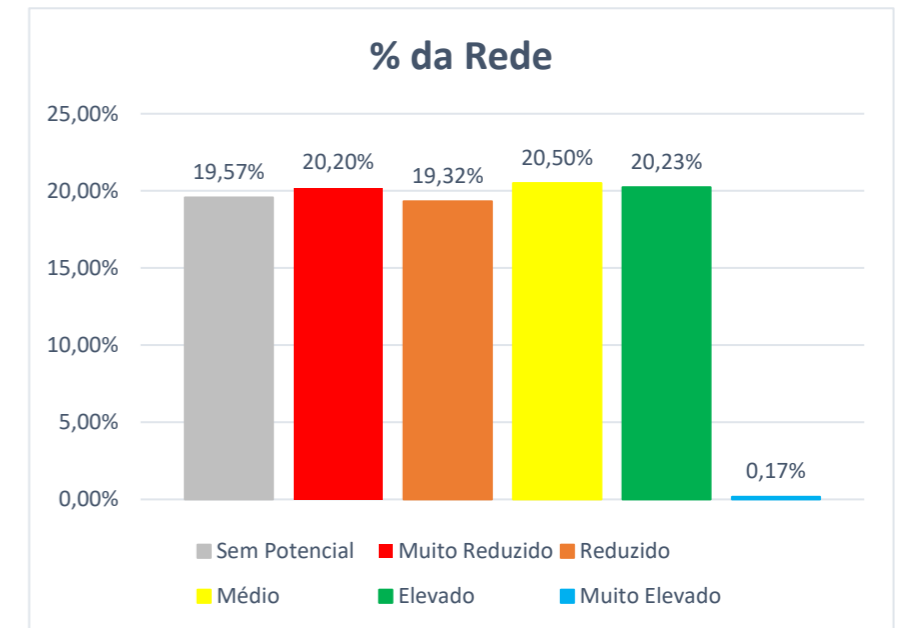
Legenda

- Sem Potencial
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 58. Mapa do potencial da infraestrutura ciclável do perímetro urbano da Covilhã para o uso de bicicletas tradicionais.



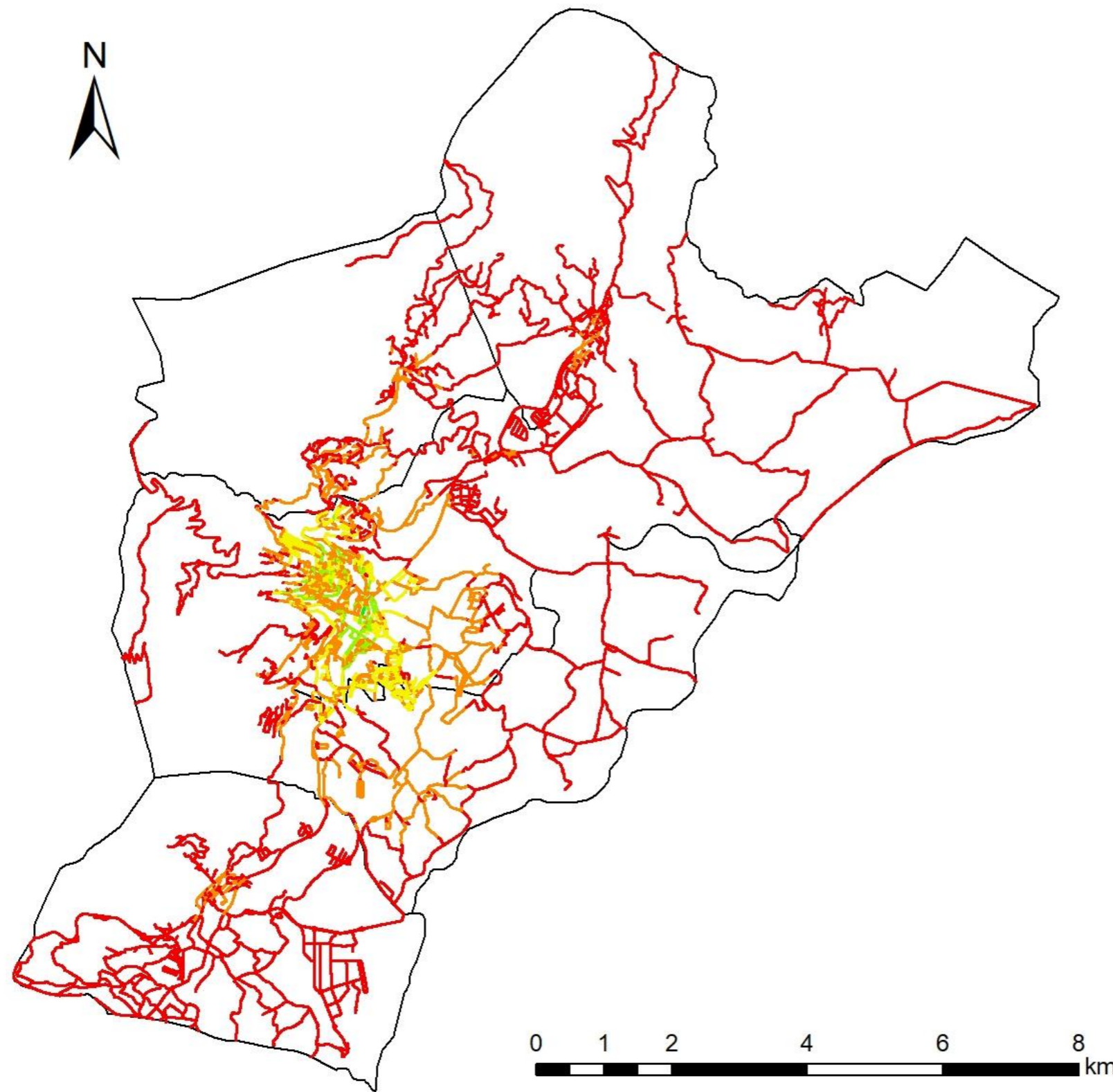
Potencial Ciclável (Bicicleta Elétrica)



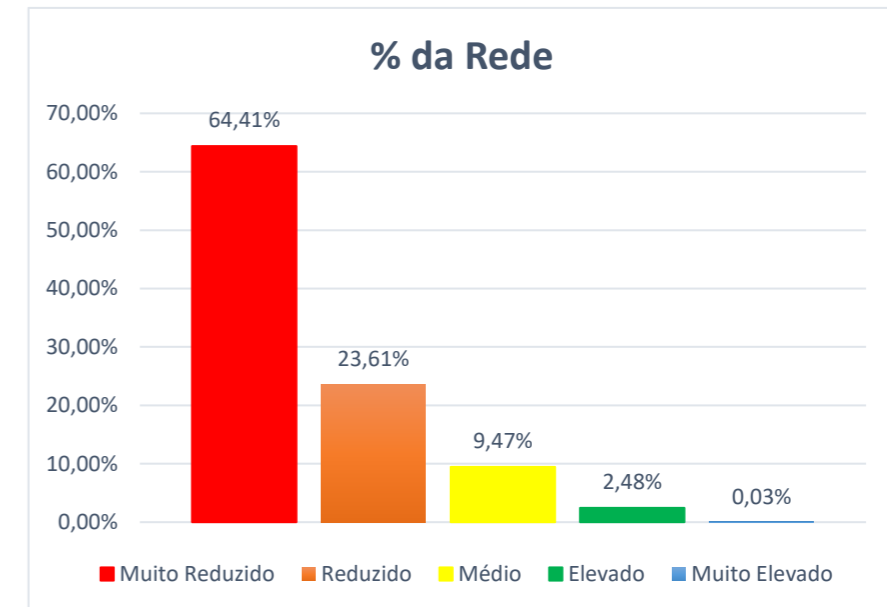
Legenda

- Sem Potencial
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 59. Mapa do potencial da infraestrutura ciclável do perímetro urbano da Covilhã para o uso de bicicletas elétricas.



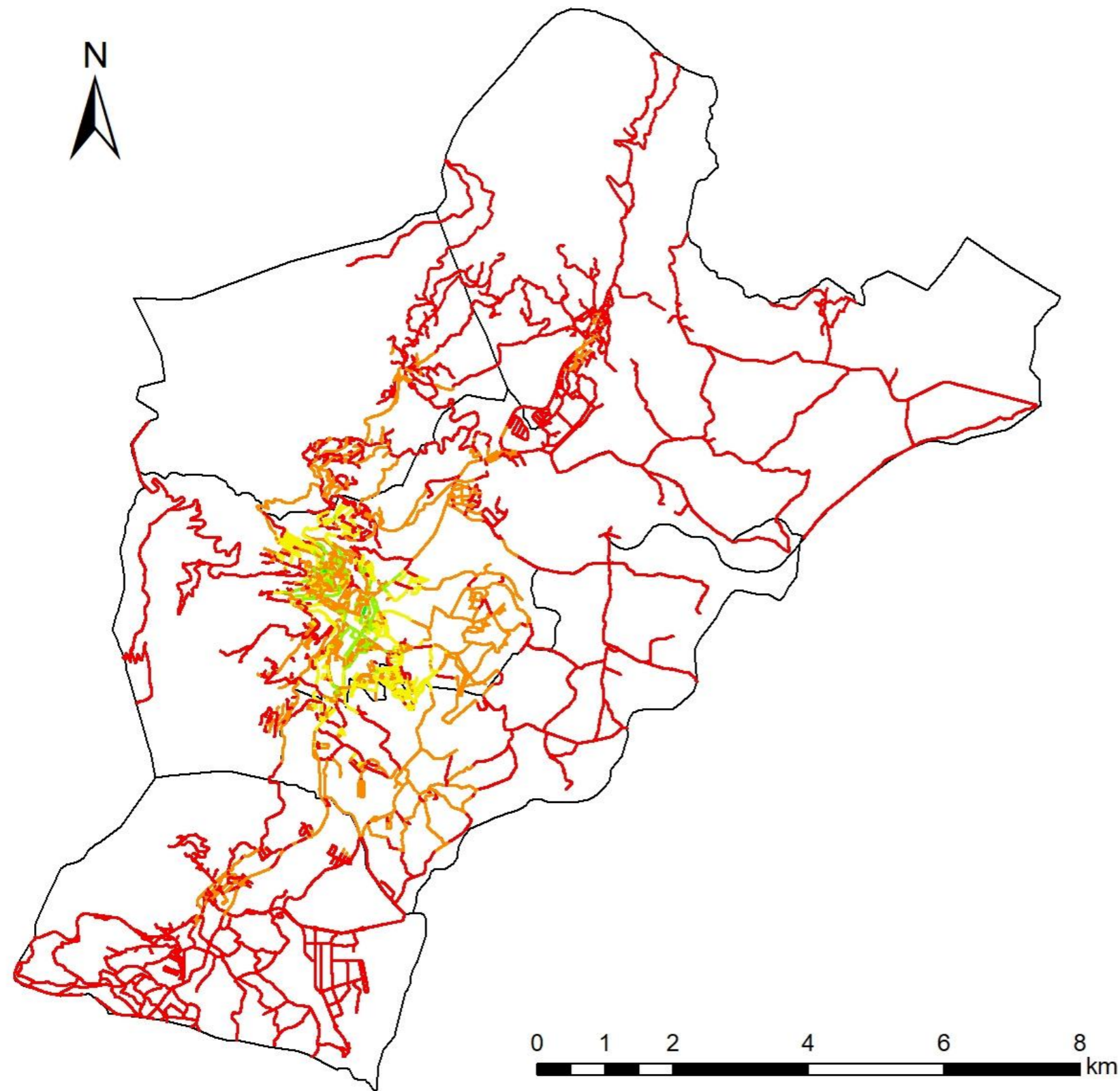
Potencial Mobilidade Suave (60%Ped+40%Trad.)



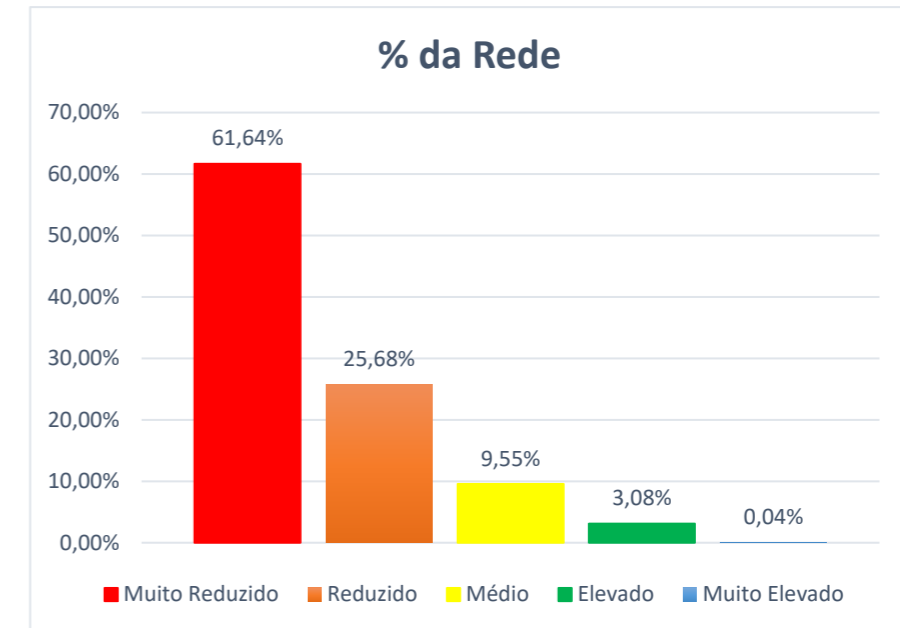
Legenda

- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 60. Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta tradicional (1ª combinação - 60%Ped e 40%Trad).



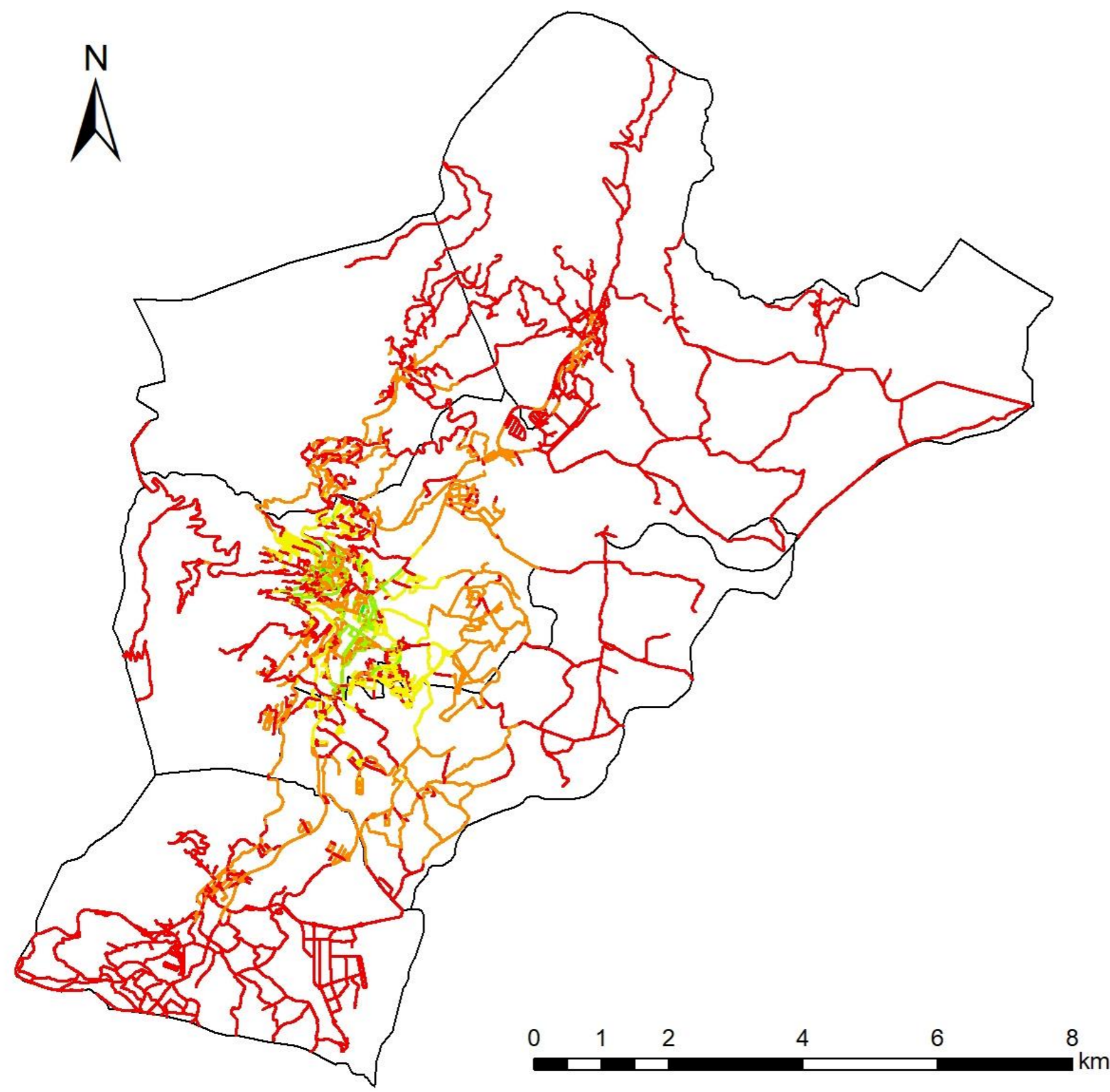
Potencial Mobilidade Suave (50%Ped+50%Trad.)



Legenda

- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 61. Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta tradicional (2ª combinação - 50%Ped e 50%Trad).



Potencial Mobilidade Suave (40%Ped+60%Trad.)

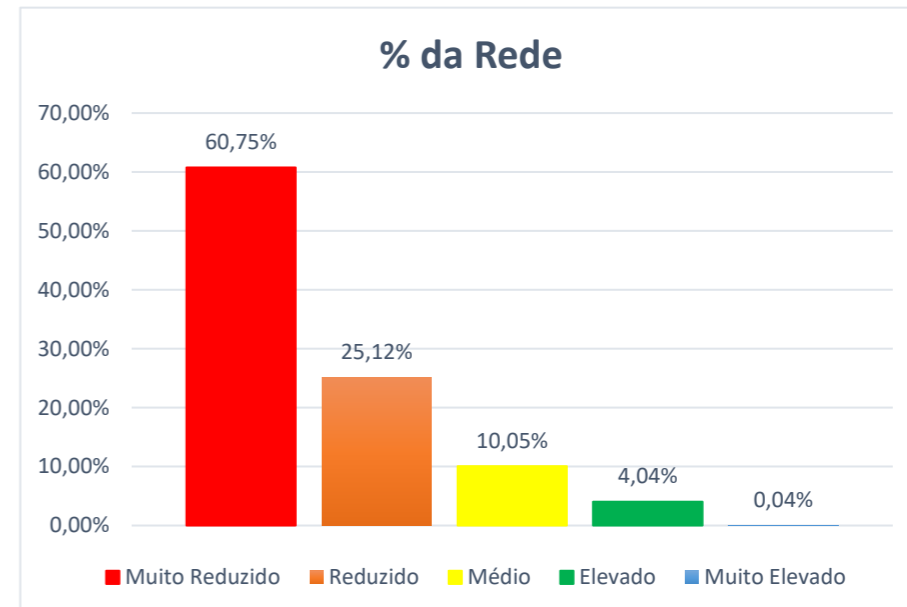
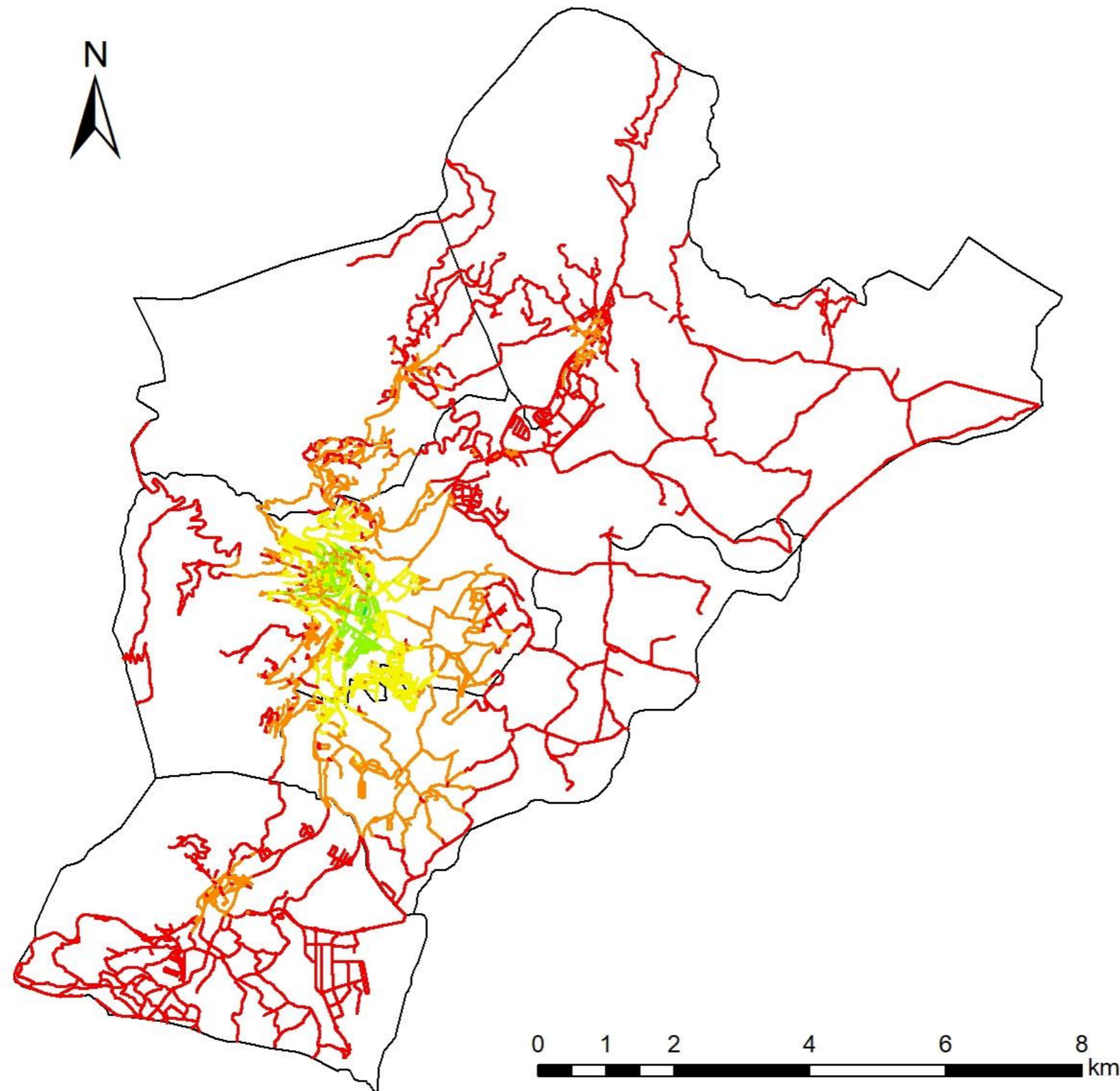
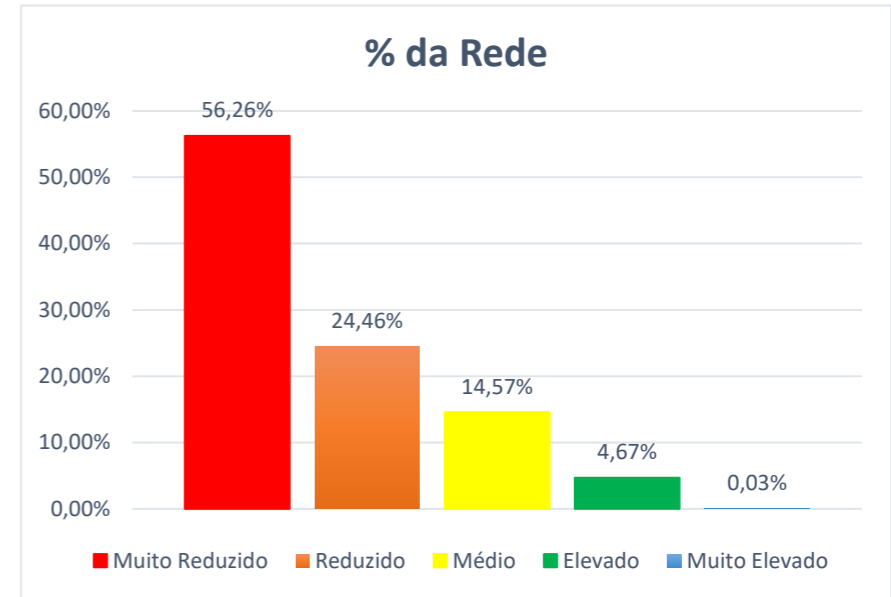


Figura 62. Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta tradicional (3ª combinação - 40%Ped e 60%Trad).



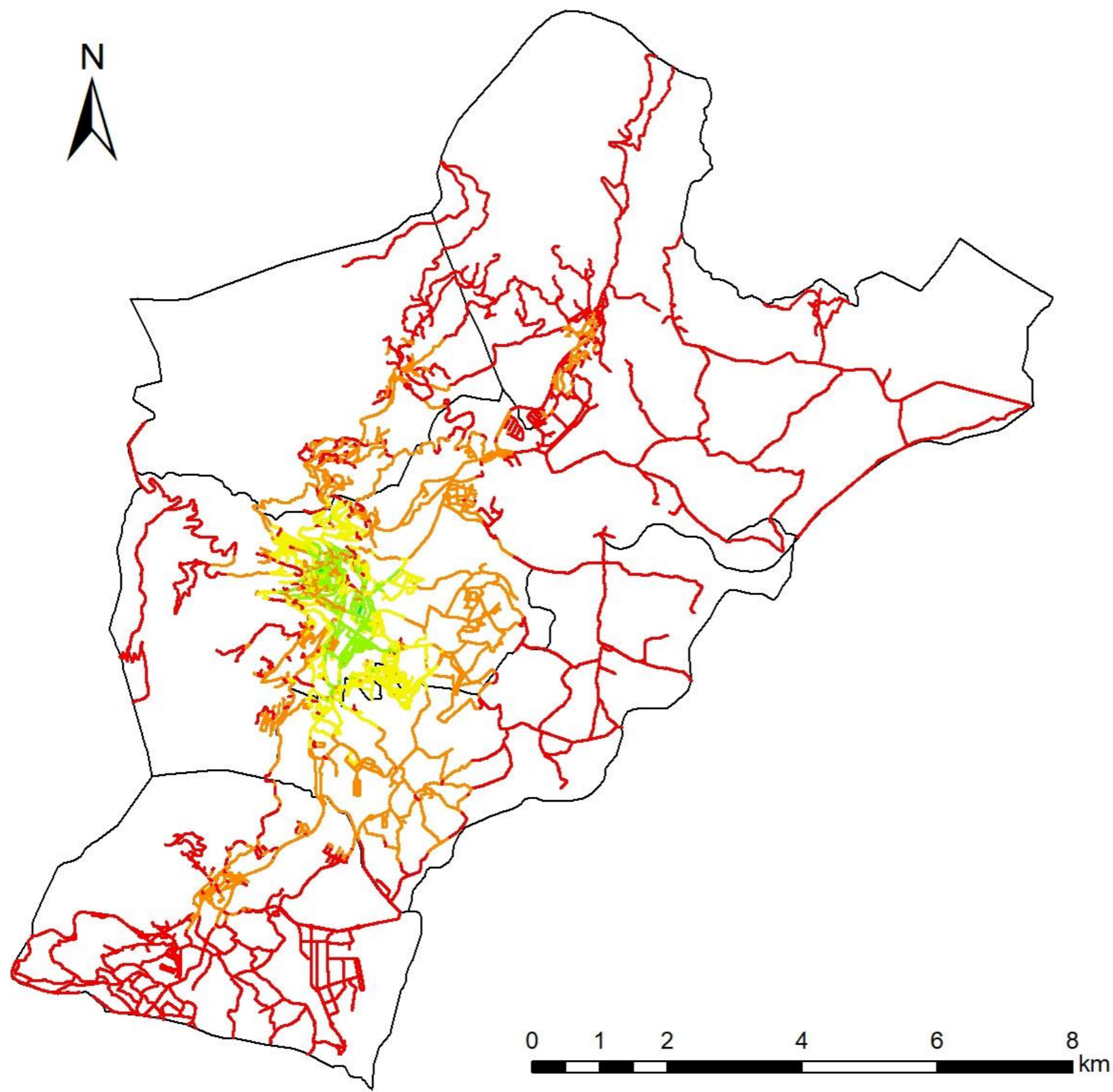
Potencial Mobilidade Suave (60%Ped.+40%Elétr.)



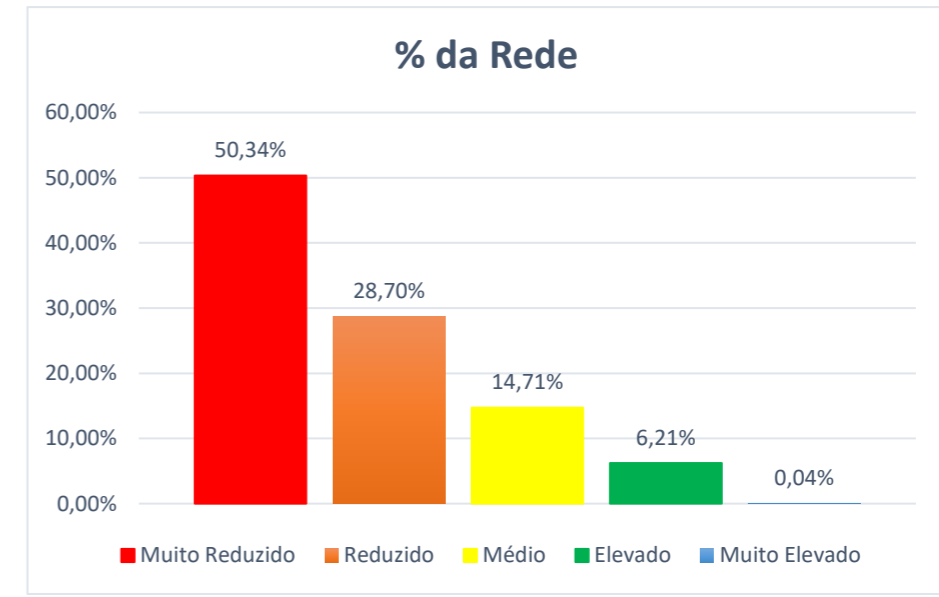
Legenda

- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 63. Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicletas elétricas (1ª combinação - 60%Ped e 40%Elétr).



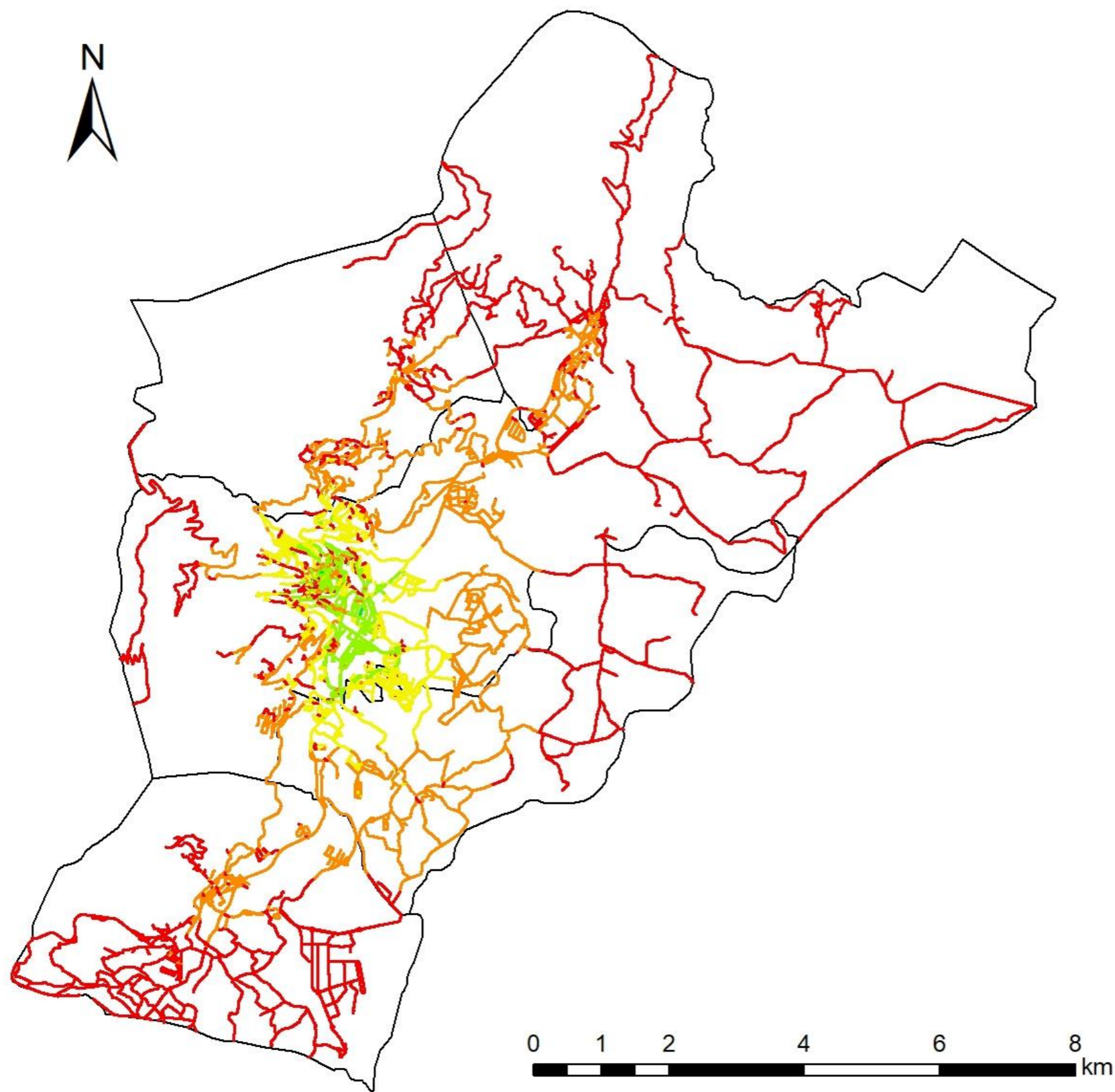
Potencial Mobilidade Suave (50%Ped.+50%Elétr.)



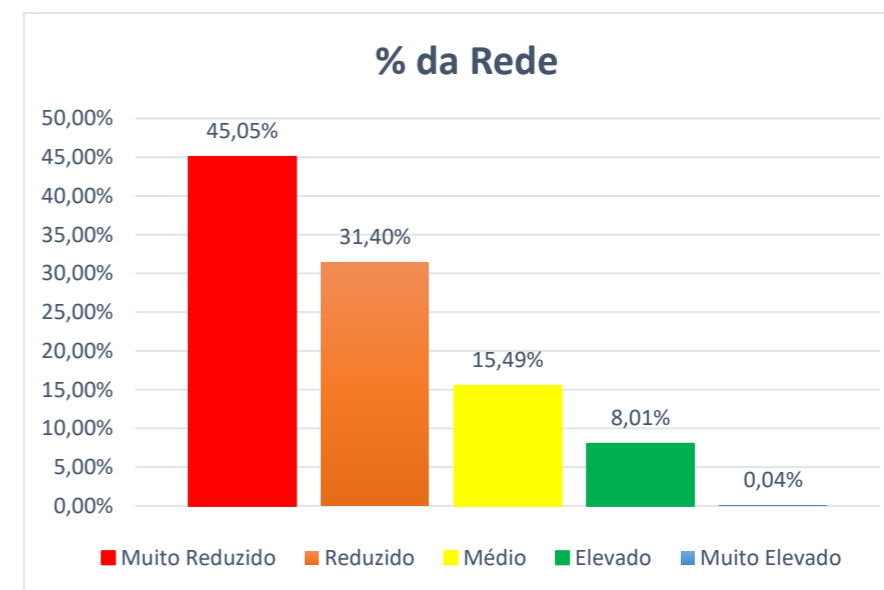
Legenda

- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 64. Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicletas elétricas (2ª combinação - 50%Ped e 50%Elétr.).



Potencial Mobilidade Suave (40%Ped.+60%Elétr.)



Legenda

- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Figura 65. Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicletas elétricas (3ª combinação - 40%Ped e 60%Elétr.).

Quanto a análise isolada dos modos suaves de mobilidade (Tabela 15 e Figuras 57 a 59):

- Para o modo pedonal os resultados indicaram que 16% da rede viária total apresenta potencial de mobilidade médio a muito elevado. Estas vias estão concentradas principalmente nas áreas próximas aos polos geradores de viagens e com alta densidade populacional, que neste caso corresponde ao centro histórico e a área de expansão da cidade.

- Para o uso da bicicleta tradicional este valor sobe para 26%, mas não correspondem necessariamente as mesmas vias verificadas no modo pedonal, pois como é feita uma restrição quanto a inclinação, algumas vias com alto potencial pedonal, principalmente as localizadas no centro histórico da cidade revelam-se inadequadas para a utilização de bicicletas tradicionais. Para essa análise verificou-se que as vias com potencial ficaram mais concentradas na área de expansão da cidade por terem inclinações menos acentuadas.

- Para o uso da bicicleta elétrica 41% das vias apresentam potencial de mobilidade médio a muito elevado. Como a inclinação máxima aceitável para este modo é maior, algumas as vias do centro histórico já passam a ser consideradas na análise e por sua proximidade aos polos geradores de viagens mostram-se com bons potenciais de mobilidade. Além destas, a área de expansão da cidade também apresenta bons potenciais de mobilidade.

- Em uma comparação entre a rede ciclável prevista pela Câmara Municipal da Covilhã e as vias consideradas com potencial de mobilidade para o uso de bicicleta tradicional foi verificado que cerca de 48% da rede prevista pela Câmara está situada em áreas adequadas, para as bicicletas elétricas este percentual sobe para 92%.

Para a análise combinada entre os modos pedonal e ciclável (bicicleta tradicional) pode-se verificar que (Tabela 16 e Figuras 60 a 62):

- Para pesos de 60% do modo pedonal e 40% para bicicleta tradicional fica próximo a 12% a parcela da rede com potencial de mobilidade de médio a muito elevado.

- Para pesos de 50% do modo pedonal e 50% para bicicleta tradicional fica aproximadamente 12,7%.

- Para pesos de 40% do modo pedonal e 60% para bicicleta tradicional sobe mais um pouco chegando a 14,1%.

- As vias com potencial de mobilidade ficam nas áreas próximas aos polos geradores de viagens e com alta densidade populacional, porém com várias intercalações de vias sem potencial, em consequência da inclinação longitudinal das vias que inviabilizam a utilização da bicicleta tradicional.

Para as últimas análises foram combinados os modos pedonal e ciclável (bicicleta elétrica) resultando em (Tabela 17 e Figuras 63 a 65):

- 19,3% da rede com potencial de mobilidade de médio a muito elevado para pesos de 60% do modo pedonal e 40% para bicicleta elétrica;

- cerca de 21% para combinação de 50% do modo pedonal e 50% para bicicleta elétrica;

- e 23,5% com a análise de 40% do modo pedonal e 60% para bicicleta elétrica.

- Novamente as áreas com maiores potenciais estão próximas aos polos geradores de viagens e as maiores densidades populacionais, nomeadamente no centro histórico e na área de expansão da cidade.

Pode-se perceber que o potencial pedonal é sempre afetado pela proximidade dos equipamentos, que por sua vez se localizam nas áreas com maior densidade populacional. Já para o caso da bicicleta, para além destes fatores, há a influência da inclinação das vias, por esse motivo são encontradas algumas vias sem potencial no interior da região com maior potencial. Esta situação melhora com a consideração da bicicleta elétrica, o que mostra que no caso das cidades de encosta é mais pertinente considerar as e-bikes.

Como esperado, o percentual da rede com potencial para mobilidade suave, traduzido pela extensão da rede com potencial, apresenta valores superiores quanto maior for a relevância do modo ciclável sobre o modo pedonal, pôde-se perceber um aumento de cerca de 2% nas análises realizadas para combinação do modo pedonal com bicicleta tradicional. Esse percentual fica mais significativo quando a análise considera as bicicletas elétricas, nesse caso foi verificado um aumento de aproximadamente 4%.

Os pesos devem ser definidos pelos gestores da área dos transportes e mobilidade da cidade em que se deseja aplicar o método, de acordo com a realidade e o propósito da análise.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Os automóveis particulares, de maneira geral, conferem conforto e segurança aos seus utilizadores, em virtude disso, apresentam destaque nas locomoções cotidianas. Contudo, a utilização excessiva deste meio pela população traz consequências individuais e coletivas. Alterações climáticas agravadas pelas emissões de gases com efeito de estufa, provenientes de automóveis, diminuição da mobilidade resultante dos congestionamentos dos centros urbanos e impactos na saúde causados por sedentarismo e estresse, são apenas alguns exemplos dos inconvenientes que podem ser atenuados pela adoção de modos suaves nos trajetos pendulares de curta distância e duração.

A melhoria da qualidade de vida da população, como consequência do planeamento de cidades mais verdes, mais acessíveis e mais seguras, são objetivos de diversas estratégias a nível nacional e internacional para incentivar os modos suaves de transporte como novos hábitos nas deslocações urbanas. Diversos fatores e características urbanas influenciam no desenvolvimento da mobilidade suave, como a distribuição dos equipamentos urbanos, a densidade populacional, a existência de passeios e ciclovias com condições adequadas para uma circulação confortável e segura, o clima e a topografia. Sendo assim, um instrumento que permita identificar o nível de aptidão das vias existentes para a utilização de modos suaves de transporte, que considere estes fatores, antevê-se uma ferramenta de planeamento com vantagens significativas na definição de estratégias municipais que incentivem e facilitem o desenvolvimento da mobilidade suave. As cidades com inclinações acentuadas, superiores a 5%, ainda são consideradas desfavoráveis para a utilização de bicicletas e do modo pedonal de transporte nas deslocações diárias (pendulares), portanto, é fundamental considerar as inclinações das vias na análise do potencial de mobilidade suave para adotar medidas que sejam eficientes e compatíveis com a topografia de cada cidade.

Diante do exposto, o presente estudo tem o objetivo de apresentar um instrumento que permita mensurar o potencial de mobilidade suave das vias que possa vir a servir de auxílio na tomada de decisão dos gestores responsáveis pelo planeamento do território e da mobilidade das cidades, no desenvolvimento de soluções que incentivem a utilização dos modos suaves para os trajetos pendulares.

Para verificar o potencial de mobilidade suave das cidades é comum recorrer à utilização dos SIGs associados à análise multicritério de apoio à decisão. Para a realização desse estudo foi feita uma revisão bibliográfica para definir as características mais relevantes a considerar na análise, os

parâmetros de velocidade de acordo com a inclinação e o modo de transporte, e a abordagem multicritério a adotar, em particular o método de combinação dos critérios.

A escolha dos critérios considerados na abordagem proposta e respetivos pesos é baseada na revisão bibliográfica e nas preferências dos tomadores de decisão e dos cidadãos. O objetivo é obter um resultado que identifique as vias da rede viária existente com maior potencial para a utilização por pedestres e por utilizadores de bicicletas tradicionais ou elétricas (potencial de mobilidade suave).

Na componente espacial, a extensão *network analyst* do ArcGIS, utilizada para a análise de redes, é usada para determinar as áreas de serviço em função da distância e do tempo de viagem, e a extensão *spatial analyst* para combinar os resultados obtidos e criar mapas. Na análise multicritério, a combinação dos critérios é realizada através do método da Combinação Linear Ponderada (CLP), por ser um dos mais utilizados em ambiente SIG e pela sua fácil implementação.

A metodologia proposta utiliza como critérios da análise a localização dos polos geradores de viagens, a densidade populacional e as características da rede viária, nomeadamente a hierarquia viária, a inclinação das vias e a existência de passeios, fazendo o tratamento e combinação da informação com recurso às ferramentas disponíveis no ArcGIS®, como referido anteriormente. Desta maneira é possível obter mapas de resultados que indicam a localização dos segmentos da rede com determinado nível de aptidão (potencial) para mobilidade pedonal, ciclável (para bicicletas tradicionais e bicicletas elétricas) e suave (combinação da mobilidade pedonal e ciclável).

O estudo de caso com aplicação da abordagem proposta foi desenvolvido na cidade da Covilhã, que é considerada uma cidade de encosta pelo seu relevo com inclinações acentuadas. Numa primeira fase foi realizada a recolha e o tratamento dos dados referentes aos limites administrativos do território, à localização dos polos geradores de viagens (critério 1), à densidade populacional (critério 2) e à rede viária (critério 3).

Foram feitas as verificações da localização dos passeios, o cálculo das velocidades e dos tempos de viagem para cada modo de transporte considerado e as análises espaciais que permitiram a criação das áreas de serviço para cada categoria de equipamentos. Em seguida, foram feitas a definição dos pesos correspondentes à importância atribuída a cada categoria de equipamento e a normalização para obter o valor do critério 1. Para o critério 2 foram normalizados os valores da densidade populacional da área estudada e para o critério 3 foram consideradas as características físicas das vias do perímetro urbano da Covilhã, onde foram feitas a exclusão das vias coletoras e a exclusão das vias com inclinação superior a 5% (análise para a bicicleta tradicional) e 10% (análise para a bicicleta elétrica) e ainda foi aplicada uma penalização às vias sem passeios. Com base em estudos anteriores foram definidos os pesos a atribuir aos critérios 1 e 2 para a obtenção dos índices de mobilidade pedonal e ciclável, correspondendo a combinação de um peso de 70%

da variável PG e de 30% da variável DP, pois chegou-se a conclusão que a variável PG deveria apresentar um peso superior ao critério DP por ser mais representativa.

De seguida, para a obtenção do índice composto de potencial de mobilidade suave foram consideradas as opiniões de especialistas e gestores da rede onde foi quantificada a relevância de um modo de transporte sobre o outro, resultando em 3 combinações de pesos: 60% pedonal e 40% ciclável, 50% pedonal e 50% ciclável e 40% pedonal e 60% ciclável.

Para organizar os resultados foi feito um agrupamento em 5 classes de potencial: muito elevado, elevado, médio, reduzido e muito reduzido. Para o modo ciclável foi ainda considerada uma classe “sem potencial”. Os resultados da aplicação da metodologia revelaram as extensões, o percentual e a localização da rede referente a cada uma destas classes, e a partir disto, foram gerados os mapas de potencial pedonal e ciclável das vias da rede viária do perímetro urbano da Covilhã. Os resultados obtidos permitem concluir que:

- Na análise do potencial pedonal, as áreas que concentram as maiores parcelas de equipamentos e população, apresentaram maior potencial. O mesmo não acontece para a análise do potencial para a bicicleta tradicional, pois mesmo em zonas de concentração de equipamentos e população (antigas freguesias de São Martinho, Santa Maria e Conceição), muitas vias tiveram como resultado “sem potencial” devido à inclinação ser superior à considerada aceitável para este modo de transporte. Para o uso de bicicletas elétricas esses resultados já são bem mais satisfatórios, pois como há um aumento significativo da inclinação aceitável, há uma diminuição considerável das vias denominadas “sem potencial”. Em termos de valores, na análise para a bicicleta tradicional o percentual da rede considerado “sem potencial” é de 43,6% e esse valor cai para 19,6% quando a análise é referente a bicicleta elétrica. Por outro lado, a rede com potencial médio a muito elevado representa 16% para o modo pedonal, 26% para o uso da bicicleta tradicional e 41% para o uso da bicicleta elétrica.
- Nas análises do potencial de mobilidade suave, que combinam o modo pedonal e o modo ciclável, foi verificado que à medida que aumenta a relevância do modo ciclável sobre o modo pedonal a aptidão das vias para a mobilidade suave aumenta. Ao comparar os valores do potencial de mobilidade suave “pedonal + bicicleta tradicional” e “pedonal + bicicleta elétrica” percebe-se um aumento de aptidão das vias para a mobilidade suave quando a bicicleta considerada é a elétrica. Em termos de valores, para a análise de 60% pedonal e 40% ciclável o aumento da percentagem da extensão das vias com aptidão (potencial médio a muito elevado) foi de 7,3% quando houve a consideração da bicicleta elétrica. Para 50% pedonal e 50% ciclável esse aumento foi de 8,3% e para 40% pedonal e 60% ciclável o aumento foi de 9,4%.

Estes resultados mostram que com a utilização da bicicleta elétrica há um aumento considerável da rede com potencial para a mobilidade suave. Em especial para as cidades de encosta se pode perceber que com a utilização de bicicletas elétricas é possível contornar parte das dificuldades

encontradas para o desenvolvimento da mobilidade suave, pois é possível vencer inclinações mais acentuadas e alcançar distâncias maiores como menor esforço por parte do utilizador. Esta análise permite aos gestores da rede, avaliar as condições de conectividade de segmentos com potencial, o que permite definir e promover percursos considerados estratégicos e direcionar os recursos de forma mais acertiva.

Como trabalhos futuros sugere-se aplicar o método a outros modos de transporte suave, considerar cenários variados quanto a orografia e incluir na verificação dos passeios, as larguras e as condições de conservação e acessibilidade para as pessoas com mobilidade reduzida.

Referências

- AASHTO. (1999). *Guide for the development of bicycle facilities*. Washington: DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Afshari, A. R., & Yusuff, R. M. (2012). A review of Spatial Multi Criteria Decision Making. *6thSASTech 2012*. Malaysia, Kuala Lumpur: Organized by Khavaran Institute of Higher Education.
- APA - Agência Portuguesa do Ambiente. (2010). *Projecto Mobilidade Sustentável, Volume II. Manual de Boas Práticas para uma Mobilidade Sustentável*. Amadora. doi:ISBN 978-972-8577-51-3
- Appolloni, L., Corazza, M. V., & D'Alessandro, D. (2019). The Pleasure of Walking: An Innovative Methodology to Assess Appropriate Walkable Performance in Urban Areas to Support Transport Planning. *Sustainability*(11, 3467). doi:10.3390/su11123467
- Austroroads. (2017). *Guide to Road Design Part 6A: Paths for Walking and Cycling*. Sydney.
- Azevedo, H. O. (2017). *Desafios para a mobilidade suave na Covilhã*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura, Universidade da Beira Interior.
- Aziz, H. M., Park, B. H., Morton, A., Stewart, R. N., Hilliard, M., & Maness, M. (2018). A high resolution agent-based model to support walk-bicycle infrastructure investment decisions: A case study with New York City. *Transportation Research Part C*, 280-299. Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.11.008>
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39, 13051-13069. Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publishers, ISBN: 0-7923-7505-x.
- Broach, J., Dill, J., & Gliebe, J. (2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transportation Research Part A* 46, pp. 1730–1740.
- Câmara Municipal da Covilhã. (2017). *Projeto de execução da rede ciclável da cidade da Covilhã*. Covilhã.
- Câmara Municipal da Covilhã. (2021). Contextualização Territorial. Acesso em 07 de 04 de 2021, disponível em <http://www.cm-covilha.pt/?cix=820&tab=792&curr=813&lang=1>
- Cambra, P. J. (2012). *Pedestrian Accessibility and Attractiveness*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Urbanismo e Ordenamento do Território, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.

- Cardoso, T. A., & Santos, A. d. (2017). Métodos multicritério de apoio à decisão no planejamento de construções e reformas de edificações. *Revista Espacios*, Vol: 38(ISSN: 0798 1015), Pg: 12.
- Carver, S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, V. Fonte: <https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/02693799108927858>
- Chakhar, S., & Mousseau, V. (2008). *Spatial Multicriteria Decision Making*. University of Paris Dauphine, France, LAMSADE.
- Comissão Europeia. (2000). *Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro*. Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.
- Comissão Europeia. (2019). *Documento de reflexão: Para uma Europa sustentável até 2030 - Anexo II Desempenho da UE em matéria de objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)*. Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.
- Dean, M. (2020). Multi-criteria analysis. Em *Advances in Transport Policy and Planning* (Vol. 6). ISSN 2543-0009. Fonte: <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.07.001>
- (s.d.). *Decreto-Lei n.º 163/2006*. Diário da República n.º 152/2006, Série I de 2006-08-08. Acesso em 17 de 02 de 2021, disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/163/2006/08/08/p/dre/pt/html>
- Demaj, G. (2020). *Surviving in our streets a sustainable walkway for pedestrians*. Dissertation Report submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of master in civil engineering, Universidade do Porto.
- Department for Communities and Local Government. (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. London: ISBN: 978-1-4098-1023-0.
- Dutra, A. (2003). *Metodologia para avaliar e aperfeiçoar o desempenho organizacional: incorporando a dimensão integrativa à MCDA construtivista-sistêmico-sinérgica*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Eastman, J. R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. Em *Geographical Information Systems* (pp. 493-502). Fonte: http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch35.pdf
- Eastman, J. R., & Jiang, H. (1996). Fuzzy Measures in Multi-criteria Evaluation. *International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies*, 2, pp. 527-534.
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P. A., & Toledano, J. (1995). Raster Procedures for Multi-Criteria /Multi-Objective Decisions. Em *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* (5 ed., Vol. 61, pp. 539-547).
- Emery, J., & Crump, C. (2003). The WABSA Project: Assessing and Improving Your Community's Walkability & Bikeability. *The University of North Carolina at Chapel Hil*.

- Eurobarômetro. (2019). *Eurobarômetro especial 495: Mobilidade e transporte*. Acesso em 16 de 02 de 2021, disponível em https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/S2226_92_1_495_ENG
- Euroforum. (2007). *Draft paper: State of the art of research and development in the field of urban mobility*. The European Research Forum for Urban Mobility. Acesso em 15 de 11 de 2020, disponível em http://www.emta.com/IMG/pdf/SoA_FinalDraft_160207_FINAL.pdf
- European Environment Agency. (2019). *Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe*. EEA Report No 21/2019. 1994-2019.
- Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment. *Journal of the American Planning Association*, Vol. 76(n.3), 265–294.
- Flugel, S., Hulleberg, N., Fyhri, A., Weber, C., & Ævarsson, G. (2019). Empirical speed models for cycling in the Oslo road. *Transportation*, 46, 1395–1419. Fonte: <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9841-8>
- Freeman, L., Neckerman, K., Schwartz-Soicher, O., Quinn, J., Richards, C., Bader, M. D., . . . Rundle, A. G. (2012). Neighborhood walkability and active travel (walking and cycling) in New York City. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, Vol 90(n.4), 575–585. doi:10.1007/s11524-012-9758-7
- Fruin, J. J. (1987). *Pedestrian, Planning and Design*. Elevator World.
- Galderisi, A., & Ceudech, A. (March de 2010). Soft Mobility and Pedestrian Networks in Urban Areas. *TeMALab Journal of Mobility, Land Use and Environment. Department of Urban and Regional Planning., III -SP*, pp. 21 - 28.
- Generalitat de Catalunya. (2008). *Manual for the design of cyclepaths in Catalonia*.
- Grigore, E. (2018). *Bikeability in Basel*. Master Thesis Spatial Development and Infrastructure Systems, Swiss Federal Institute of Technology Zürich.
- Hansen, P., & Devlin, N. (2019). Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in health care decision making. *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*. Fonte: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190625979.013.98>
- Hartanto, K. (2017). *Developing a bikeability index to enable the assessment of Transit-Oriented Development (TOD) nodes*. Thesis submitted to the Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente. , Netherlands.
- IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes. (2020). *Documento Normativo para Aplicação a Arruamentos Urbanos - Fascículo III – Características geométricas para vias de tráfego não motorizado*. Lisboa.
- IMTT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres. (2011b). *Rede Ciclável - Princípios de Planeamento e Desenho*.

- IMTT- Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I. (2011). *Guia para a Elaboração de Planos de Mobilidade e Transportes*. Pacote da Mobilidade, Território Acessibilidade e Gestão de Mobilidade.
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2001). *XIV Recenseamento Geral da População*. Lisboa.
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2011). *XV Recenseamento Geral da População*. Lisboa. Fonte: <http://www.ine.pt>
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2021). *Censos 2021 - Resultados Preliminares*. Fonte: https://ine.pt/scripts/db_censos_2021.html
- INE - Instituto Nacional de Estatística. (2021). *Metainformação*. Fonte: https://www.ine.pt/bddXplorer/htdocs/minfo.jsp?var_cd=0008337&lingua=PT
- INE- Instituto Nacional de Estatística. (2011). *Duração média dos movimentos pendulares (min) da população residente empregada ou estudante por Local de residência (Cidade, NUTS - 2002); Decenal*. Fonte: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007918&contexto=bd&selTab=tab2
- Instituto da Mobilidade e dos Transportes. (2014). *Mobilidade em Cidades Médias*.
- Irtenkauf, E. (2014). *Analyzing Tobler's Hiking Function and Naismith's Rule*. The Pennsylvania State University. Fonte: https://gis.education.psu.edu/sites/default/files/capstone/Irtenkauf_596B_20140430.docx
- Jensen, S. U. (2007). Pedestrian and Bicyclist Level of Service on Roadway Segments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2031, 43–51. doi:10.3141/2031-06
- Jesus, P. (2008). Covilhã, cidade fábrica, cidade granja. Acesso em 07 de 04 de 2021, disponível em <https://cidadedacovilha.blogs.sapo.pt/2711.html>
- Jiang, H., & Eastman, J. R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *Int. J. Geographical Information Science*, Vol. 14(n. 2), 173 - 184. doi:10.1080/136588100240903
- Koschinsky, J., Talen, E., Alfonzo, M., & Lee, S. (2017). How walkable is Walker's paradise? *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Vol. 44(n. 2), 343-363. doi:<https://doi.org/10.1177/0265813515625641>
- Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, 5, 451-459.
- Kuzmyak, R., Baber, C., & Savory, D. (2006). Use of Walk Opportunities Index to Quantify Local Accessibility. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1977, pp. 145–153.
- Lee, M.-C. (2010). The Analytic Hierarchy and the Network Process in Multicriteria Decision Making: Performance Evaluation and Selecting Key Performance

- Indicators Based on ANP Model. Em *Convergence and Hybrid Information Technologies* (p. 426). Croatia: ISBN: 978-953-307-068-1.
- Lefebvre-Roparsa, G., Morency, C., Singleton, P. A., & Clifton, K. J. (2017). Spatial transferability assessment of a composite walkability index: The Pedestrian Index of the Environment (PIE). *Transportation Research Part D, Vol. 57*, 378–391. Fonte: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.018>
- Lieswyn, J., Macbeth, A., Wilke, A., Ward, J., Ashford, J., Houghton, R., & Lloyd, W. (2012). An Illustrated Lexicon of Cycle Facilities. *Technical Note: 2 Walk and Cycle Conference*. Hastings.
- Lowry, M. B., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2314, 41–48.
- Mackett, R. L. (2003). Why do people use their cars for short trips? *Transportation* 30, pp. 329–349.
- Malczewski, J. (2000). On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*, v. 4(n.1), 5-22. doi:10.1111/1467-9671.00035
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62, 3–65. doi:10.1016/S0305-9006(03)00079-5
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*(20:7), 703-726. doi:10.1080/13658810600661508
- Neves, A. M. (2013). *Rede de Mobilidade Suave de Azeitão – Integração na Estrutura Ecológica Municipal e Contributo para uma Infraestrutura Verde Local*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Newman, P. (April de 1996). Reducing automobile dependence. *Environment and Urbanization*, Vol. 8,(No. 1).
- Nogueira, A. F. (2020). *Avaliação do potencial da infraestrutura pedonal para promoção da mobilidade suave em cidades de encosta*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Covilhã.
- OECD. (2004). *National Policies to Promote Cycling*. Fonte: <http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/04Cycling.pdf>
- Osgood, C. E., Suci, G. J., & Tannenbaum, P. H. (1957). *The Measurement of Meaning*. University of Illinois Press: Urbana and Chicago.
- PAMUS-BSE. (2016). PAMUS das Beiras e Serra da Estrela Fase 3: Proposta do PAMUS-BSE. Consultores em Transportes Inovação e Sistemas; Universidade da Beira Interior.

- Parkin, J., Ryley, T. J., & Jones, T. J. (2007). *Barriers to cycling: an exploration of quantitative*. Civil Engineering: Book Chapters. Paper 1. Fonte: http://digitalcommons.bolton.ac.uk/ce_chapters/1
- Passos, S. V. (2018). *Instrumento de apoio à criação de um mapa de potencial ciclável da rede viária com recurso a SIG*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica., Universidade da Beira Interior., Covilhã.
- Pordata. (2018). *Número de veículos ligeiros de passageiros por mil habitantes*. Fonte: <https://www.pordata.pt/Europa/N%C3%BAmero+de+ve%C3%ADculos+ligeiros+de+passageiros+por+mil+habitantes-3078>
- Pordata- Base de Dados Portugal Contemporâneo. (2018). *Emissões de gases com efeito de estufa: total e por alguns sectores de emissões de gases*. Acesso em 24 de 10 de 2020, disponível em <https://www.pordata.pt/Europa/Emiss%C3%B5es+de+gases+com+efeito+de+estufa+total+e+por+alguns+sectores+de+emiss%C3%B5es+de+gases-1481>
- Porta, S., & Renne, J. L. (2005). Linking urban design to sustainability: Formal indicators of social urban sustainability field research in Perth, Western Australia. *URBAN DESIGN International, Vol. 10*, 51–64.
- Ramos, R. A. (2000). *Localização Industrial, Modelo Espacial para o Nordeste de Portugal*. Dissertação para obtenção do grau de doutor em engenharia civil, Universidade do Minho, Braga.
- Rolo, S. R. (2011). *Proposta para uma mobilidade sustentável na freguesia de Carcavelos*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Ruxa, M. S. (2013). *Integração da Bicicleta na Mobilidade Urbana – Análise de Casos de Estudo e Ensinaamentos para Portugal*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Ordenamento do Território e Impactes Ambientais, Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences, v. 1*(n. 1), p. 83.
- Saelens, B. E., Sallis, J. F., & Frank, L. D. (2003). Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. *25*(2), 80-91. Fonte: https://doi.org/10.1207/S15324796ABM2502_03
- Schaap, N., Harms, L., & Kansen, M. (2016). *Cycling and walking: the grease in our mobility chain*. KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis.
- Shaaban, K. (2019). Assessing Sidewalk and Corridor Walkability in Developing Countries. *Sustainability, 11*(3865). doi:<https://doi.org/10.3390/su11143865>

- Silva, A. U. (2017). *Implementação de soluções de mobilidade suave nas ações do planeamento. Caso de estudo – Cascais*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Arquitetura, Técnico Lisboa.
- Silva, P. A. (2008). *The importance of pedestrian spaces. The City of Porto*. Project presented for accomplishment of degree requirements for master in civil engineering, Universidade do Porto.
- Simões, F. d. (2011). *Mobilidade Pedonal, O caso de estudo da Baixa de Lisboa e suas colinas*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Universidade Nova de Lisboa.
- Singleton, P. A., Schneider, R. J., Muhs, C., & Clifton, K. J. (2014). The Pedestrian Index of the Environment: Representing the Walking Environment in Planning Applications. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*. Washington DC.
- Sousa, A., Santos, B., & Goncalves, J. (2019). Pedestrian Environment Quality Assessment in Portuguese Medium-Sized Cities. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/6/062033>
- Southworth, M. (2005). *Designing the Walkable City*.
- Stillwell, W. G., Seaver, D. A., & Edwards, W. (1981). A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. Em *Organizational Behavior and Human Performance* (Vols. 28, n.1, pp. 62-77).
- Sustrans Design Manual. (2014). *Handbook for Cycle-Friendly Design*. Acesso em 30 de 11 de 2020, disponível em https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/cycling-guidance/sustrans_handbook_for_cycle-friendly_design.pdf
- TR EN MO - Transportes, Engenharia, Modelação S.A. (2016). *Plano intermunicipal de mobilidade e transportes da região de Coimbra*. Relatório final., PRT 186-02-07 v03.00.
- Turner, S. M., Shafer, C. S., & Stewart, W. P. (1997). *Bicycle Suitability Criteria for State Roadways in Texas*. Texas: College Station.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Fonte: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- Vale, D. S. (2016). A cidade e a bicicleta: uma leitura analítica. *Finisterra*, LI(103), pp. 45-66. doi:10.18055
- Vaudano, L. (2017). *Bicicleta e Mobilidade, Redes cicláveis em contexto Periurbano. Estudo de Caso: Freguesia de Porto Salvo*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura Paisagista, Universidade de Lisboa.
- Voogd, H. (1982). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Delftsche Uitgevers Maatschappij. Fonte: <https://doi.org/10.6100/IR102252>

- Wicramasinghe, V., & Dissanayake, S. (2017). Evaluation of pedestrians' sidewalk behavior in developing. *World Conference on Transport Research - WCTR* (pp. 4068–4078). Shanghai: Elsevier B.V.
- World Health Organization. (2018). *Let's Be Active*. Plano de Ação Global para a Atividade Física 2018-2030. Fonte: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272721/WHO-NMH-PND-18.5-por.pdf>
- Yager, R. R. (1988). On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decision-Making. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 8, n.1, pp. 183-190.

Anexos

Anexo 1: Lista de equipamentos por categoria e quantidade.

Categoria	Tipo de Equipamento	Nº de Equipamentos
Saúde	Centro de Saúde/ Posto Médico	3
	Hospital	1
	Centro de Diagnóstico	1
Educação	Polos da Universidade da Beira Interior	5
	Escolas Básicas	13
	Escolas Secundárias	3
	Escolas Profissionais	1
Serviços Públicos	Serviços da Câmara Municipal	3
	Juntas de Freguesias	6
	Tribunal	1
	Finanças	1
	Segurança Social	1
	Posto de Turismo	1
	Posto CTT	2
	Esquadras	2
	IEFP	1
Bibliotecas	2	
Comércio	Pequenos Comércio	3
	Centros Comerciais	3
Transportes	Estação Ferroviária	1
	Central de Camionagem	1
Turismo	Hotéis	6
Cultura	Museus	3
	Teatros	1
Lazer	Jardins	4
Desporto	Complexo Desportivo	1
	Piscina Municipal	1
	Estádios	2

**Anexo 2: Tabela de velocidades de bicicletas e e-bikes em função da declividade
(Fonte: Flugel, Hulleberg, Fyhri, Weber, & Ævarsson, 2019).**

Declividade	Velocidade Bicicletas (km/h)	Velocidade E-Bikes (km/h)
Abaixo de -9%	17,70	18,66
Entre -9% e -7%	19,29	19,34
Entre -7% e -6%	20,18	20,96
Entre -6% e -5%	21,40	22,75
Entre -5% e -4%	21,34	21,58
Entre -4% e -3%	20,34	20,52
Entre -3% e -2%	19,48	19,74
Entre -2% e -1%	18,55	18,83
Entre -1% e 0%	18,34	18,82
Entre 0% e 1%	17,61	18,44
Entre 1% e 2%	15,63	17,29
Entre 2% e 3%	14,77	16,46
Entre 3% e 4%	13,96	16,47
Entre 4% e 5%	13,05	15,93
Entre 5% e 6%	12,65	15,63
Entre 6% e 7%	11,55	14,90
Entre 7% e 9%	11,20	13,72
Acima de 9%	10,76	12,80

Anexo 3: Inquérito aplicado aos especialistas e representantes da CMC para aferir a relevância de um modo de transporte em relação ao outro.

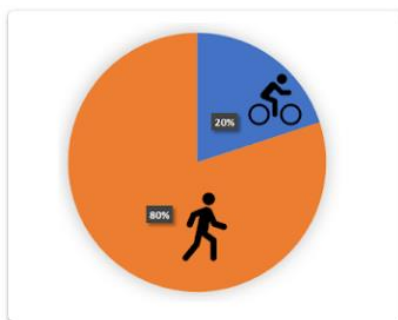
1- Considerando os modos suaves de transporte, pedonal e de bicicleta (convencional ou elétrica), qual destas opções lhe parece mais relevante nas deslocações pendulares efetuadas em áreas urbanas?

- Caminhada (modo pedonal)
- Bicicleta (convencional ou elétrica)
- Relevância semelhante

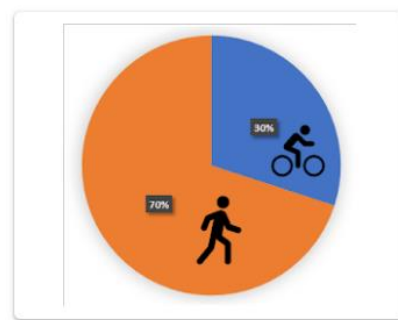
2- E nas deslocações pendulares efetuadas em áreas urbanas em cidades de encosta/montanha?

- Caminhada (modo pedonal)
- Bicicleta (convencional ou elétrica)
- Relevância semelhante

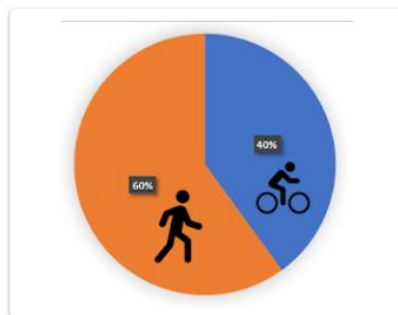
3- Para definir o potencial de mobilidade suave de uma via urbana é necessária uma combinação entre os índices de walkability (modo pedonal) e bikeability (modo ciclável). Na sua opinião, em áreas urbanas, que combinação traduz melhor a relevância de um modo em relação ao outro.



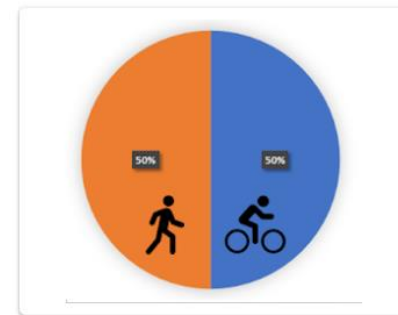
- Modo pedonal (80%) + Modo ciclável (20%)



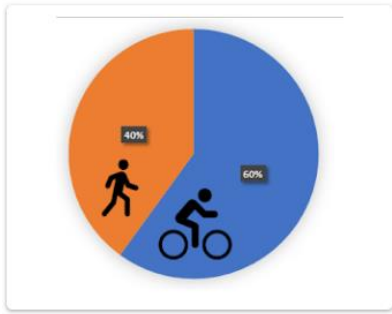
- Modo pedonal (70%) + Modo ciclável (30%)



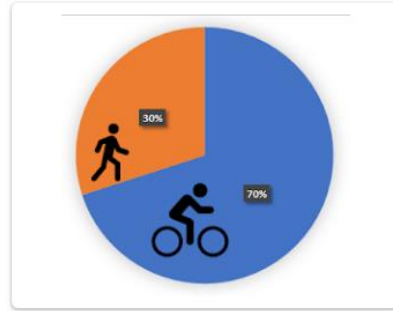
- Modo pedonal (60%) + Modo ciclável (40%)



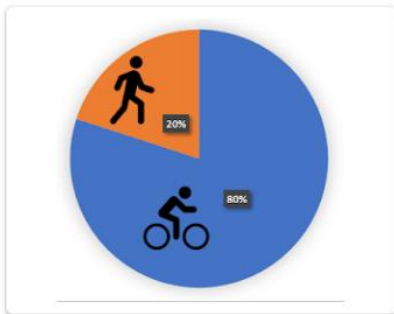
- Modo pedonal (50%) + Modo ciclável (50%)



Modo pedonal (40%) + Modo ciclável (60%)

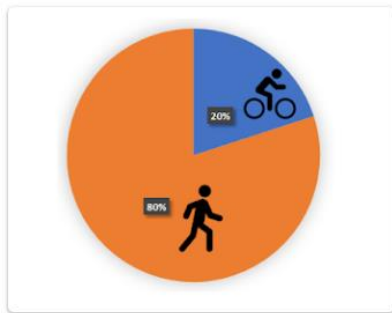


Modo pedonal (30%) + Modo ciclável (70%)

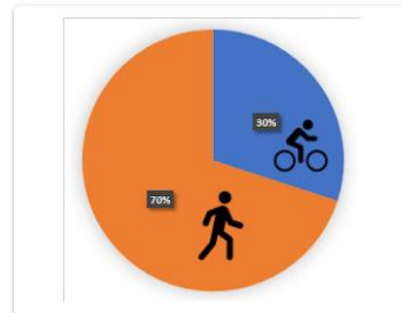


Modo pedonal (20%) + Modo ciclável (80%)

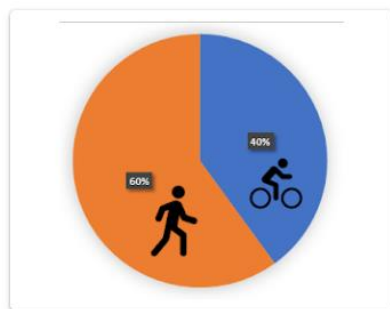
4- Na sua opinião, em áreas urbanas em cidades de encosta/montanha, que combinação traduz melhor a relevância de um modo em relação ao outro.



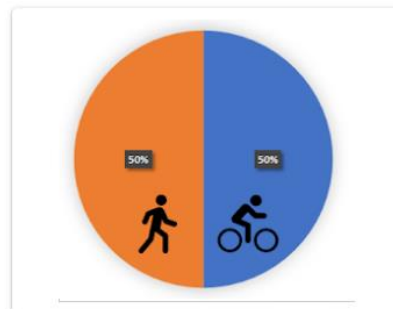
Modo pedonal (80%) + Modo ciclável (20%)



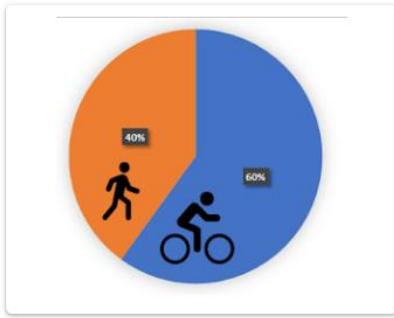
Modo pedonal (70%) + Modo ciclável (30%)



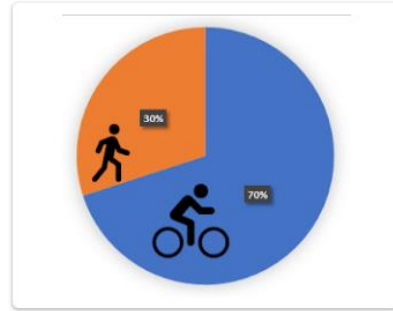
Modo pedonal (60%) + Modo ciclável (40%)



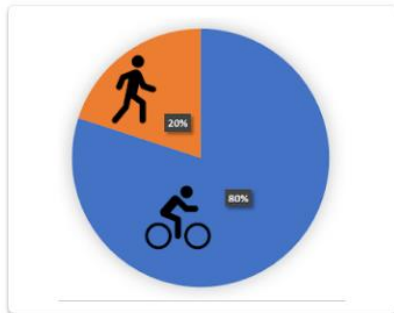
Modo pedonal (50%) + Modo ciclável (50%)



Modo pedonal (40%) + Modo ciclável (60%)



Modo pedonal (30%) + Modo ciclável (70%)

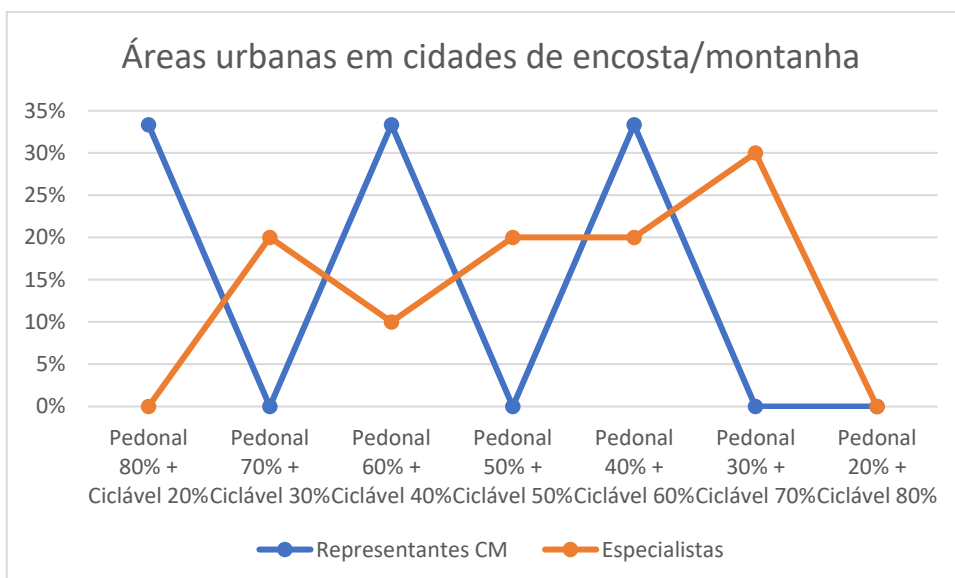
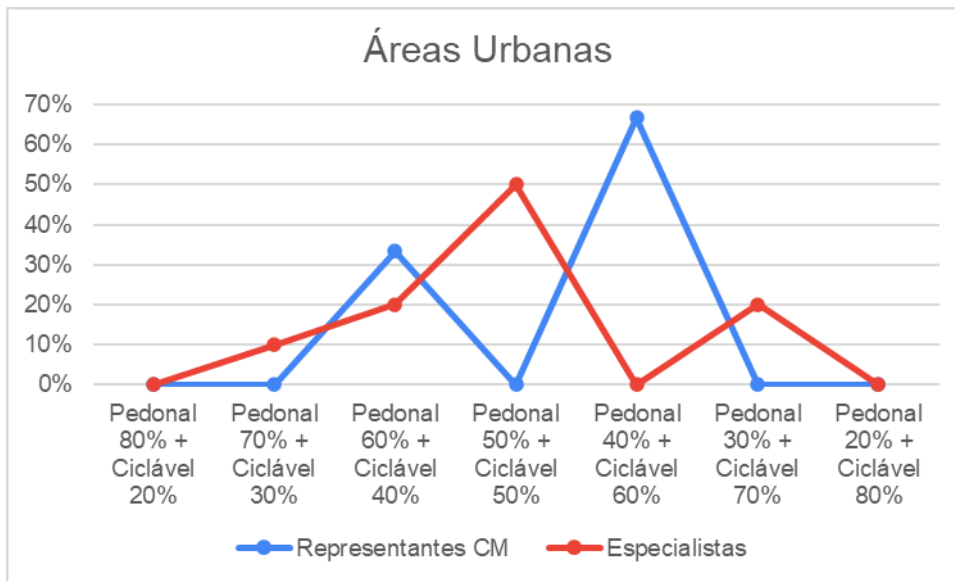


Modo pedonal (20%) + Modo ciclável (80%)

Resultados dos inquéritos

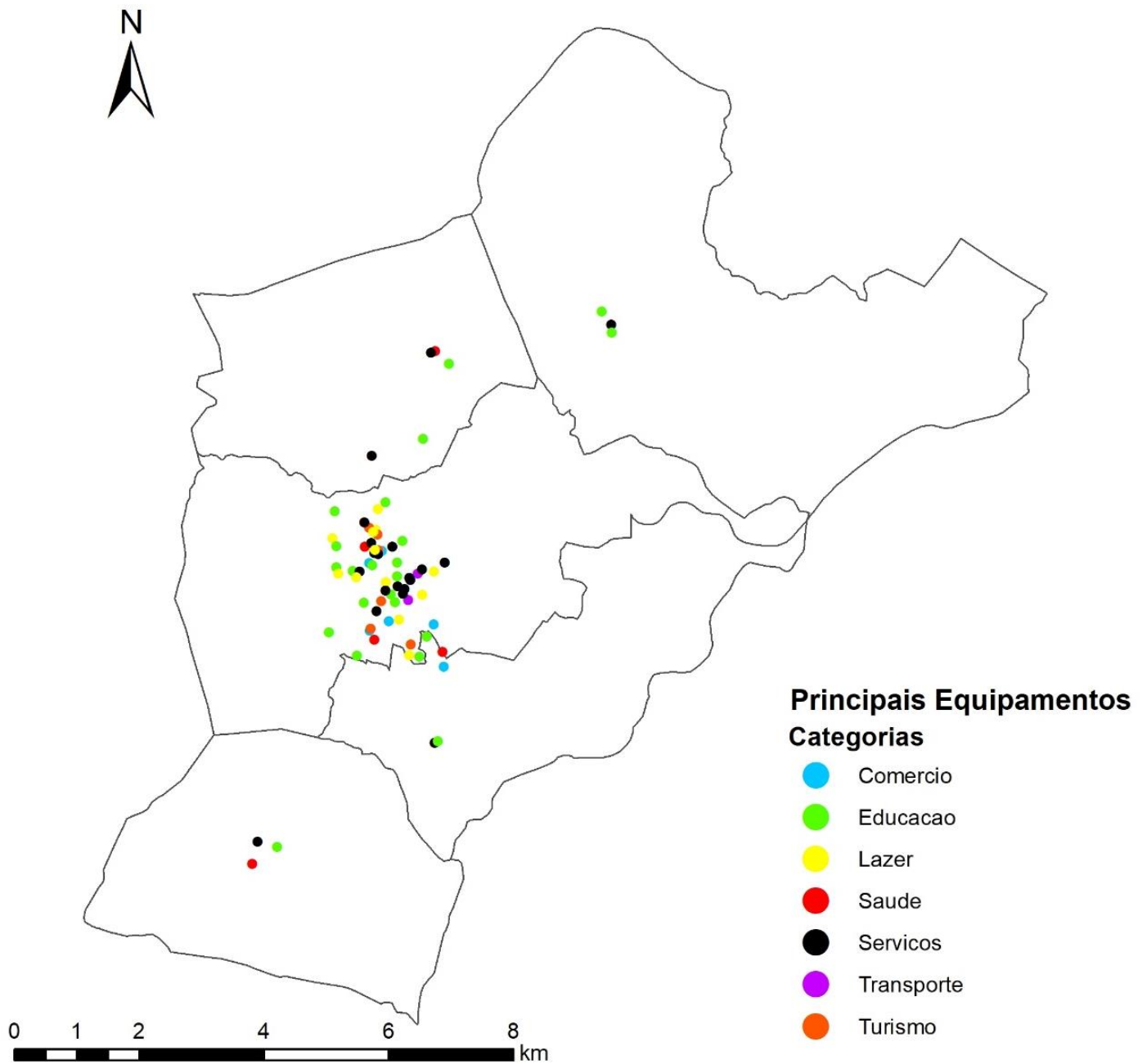
1 Considerando os modos suaves de transporte, pedonal e de bicicleta (convencional ou elétrica), qual destas opções lhe parece mais relevante nas deslocações pendulares efetuadas em áreas urbanas?	Quantidade de respostas de representantes da Câmara Municipal da Covilhã	%	Quantidade de respostas de especialistas	%
Caminhada (modo pedonal)	0	0%	0	0%
Bicicleta (convencional ou elétrica)	3	100%	3	30%
Relevância semelhante	0	0%	7	70%
2 E nas deslocações pendulares efetuadas em áreas urbanas em cidades de encosta/montanha?	Quantidade de respostas de representantes da Câmara Municipal da Covilhã	%	Quantidade de respostas de especialistas	%
Caminhada (modo pedonal)	2	67%	1	10%
Bicicleta (convencional ou elétrica)	1	33%	6	60%
Relevância semelhante	0	0%	3	30%
3 Para definir o potencial de mobilidade suave de uma via urbana é necessária uma combinação entre os índices de walkability (modo pedonal) e bikeability (modo ciclável). Na sua opinião, em áreas urbanas, que combinação traduz melhor a relevância de um modo em relação ao outro.	Quantidade de respostas de representantes da Câmara Municipal da Covilhã	%	Quantidade de respostas de especialistas	%
Pedonal 80% + Ciclável 20%	0	0%	0	0%
Pedonal 70% + Ciclável 30%	0	0%	1	10%
Pedonal 60% + Ciclável 40%	1	33%	2	20%
Pedonal 50% + Ciclável 50%	0	0%	5	50%
Pedonal 40% + Ciclável 60%	2	67%	0	0%
Pedonal 30% + Ciclável 70%	0	0%	2	20%
Pedonal 20% + Ciclável 80%	0	0%	0	0%
4 Na sua opinião, em áreas urbanas em cidades de encosta/montanha, que combinação traduz melhor a relevância de um modo em relação ao outro.	Quantidade de respostas de representantes da Câmara Municipal da Covilhã	%	Quantidade de respostas de especialistas	%
Pedonal 80% + Ciclável 20%	1	33%	0	0%
Pedonal 70% + Ciclável 30%	0	0%	2	20%
Pedonal 60% + Ciclável 40%	1	33%	1	10%
Pedonal 50% + Ciclável 50%	0	0%	2	20%
Pedonal 40% + Ciclável 60%	1	33%	2	20%
Pedonal 30% + Ciclável 70%	0	0%	3	30%
Pedonal 20% + Ciclável 80%	0	0%	0	0%

Gráficos gerados a partir dos resultados dos inquéritos

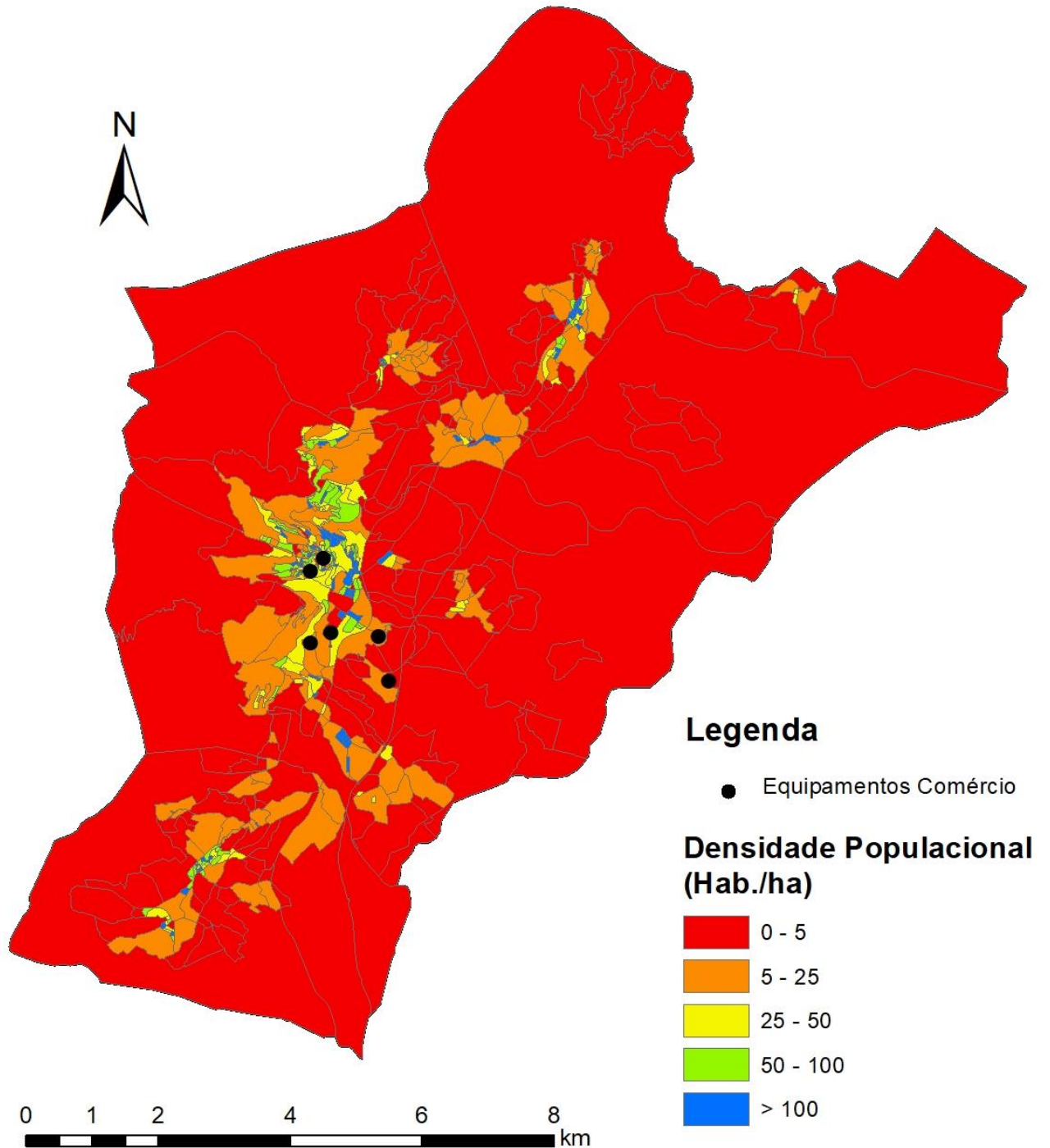


Anexo 4: Carta temática 1:

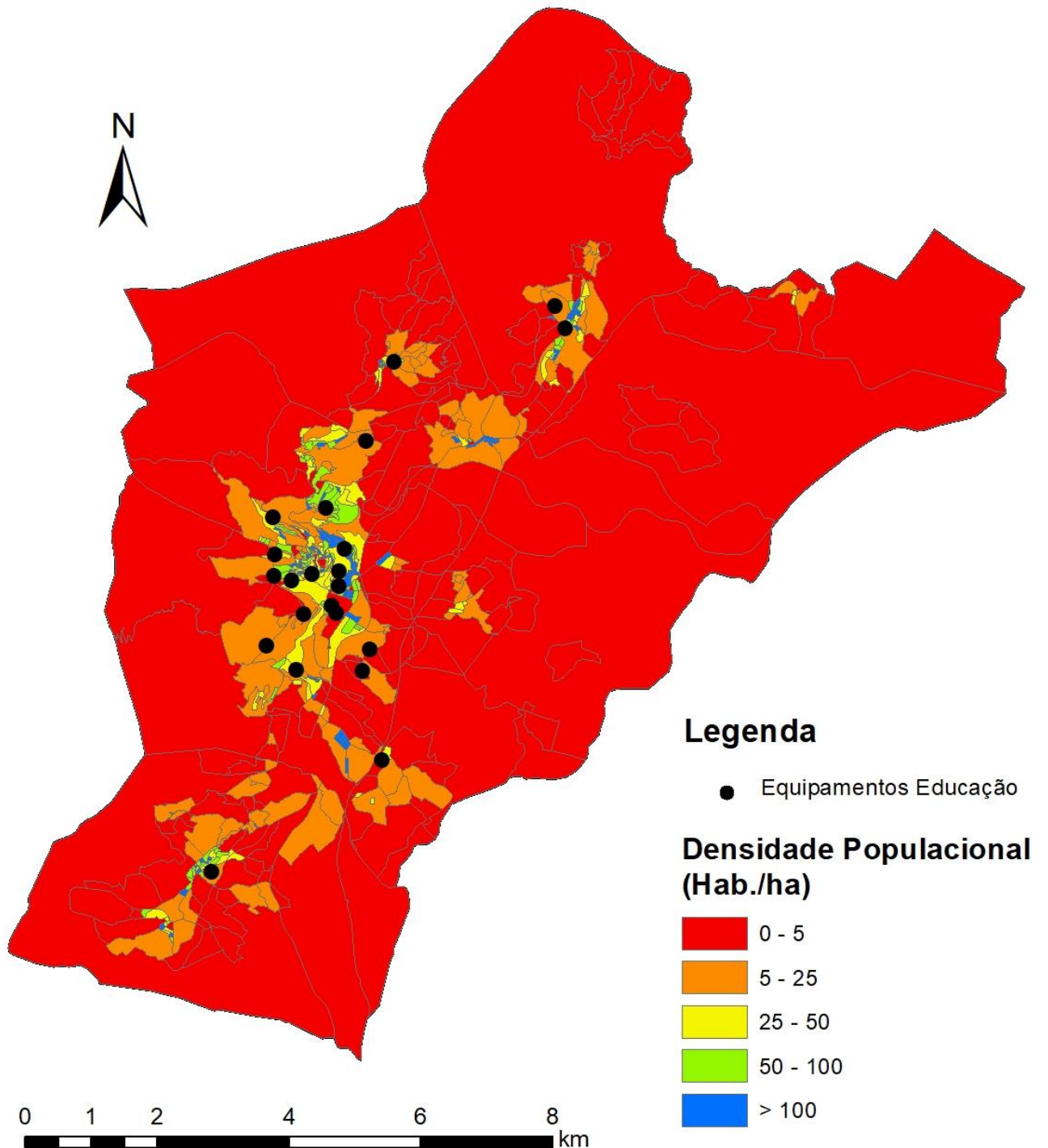
Principais equipamentos e respetivas categorias (perímetro urbano da Covilhã)



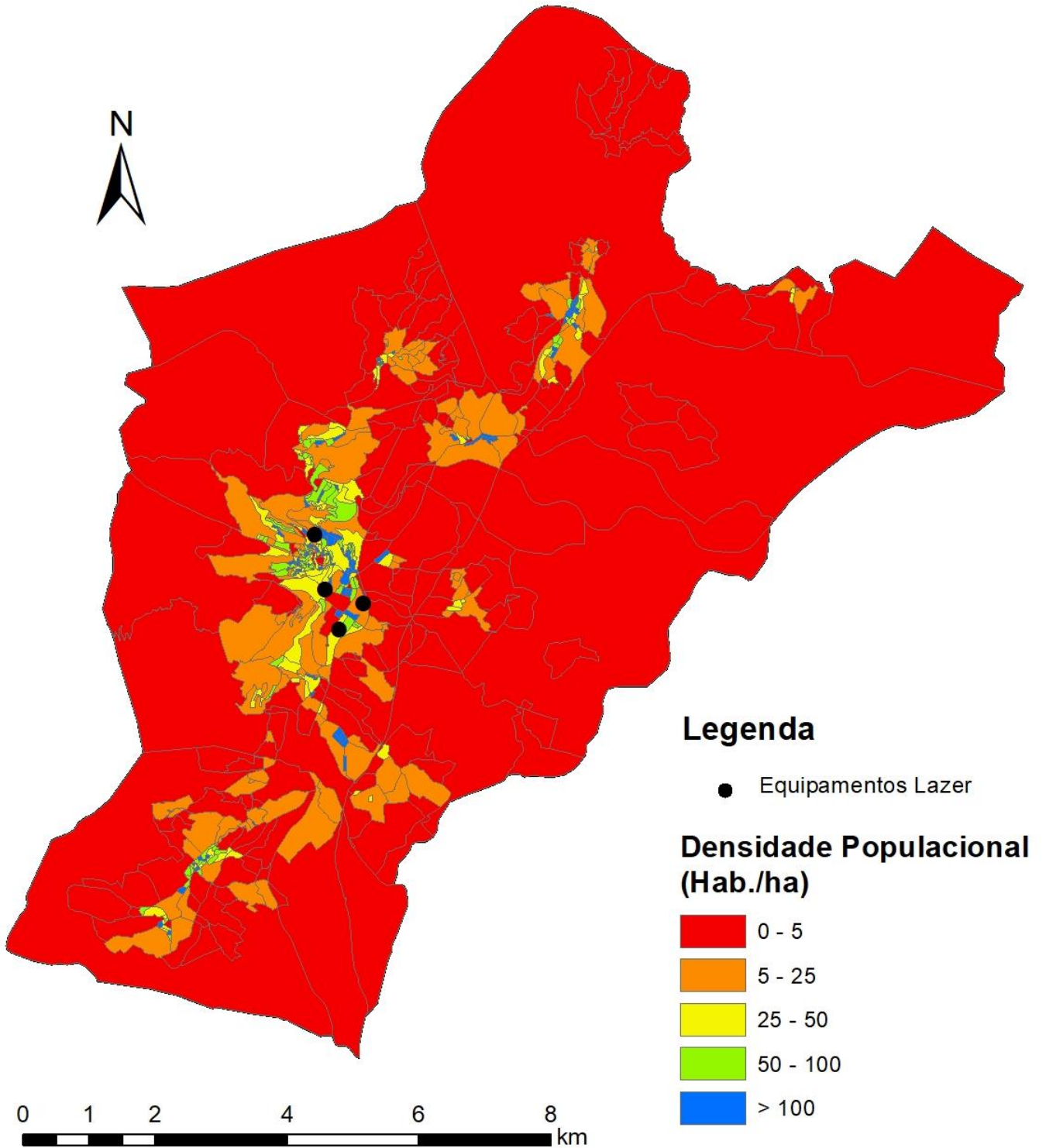
**Anexo 5: Carta temática 2:
Principais equipamentos (categoria comércio)**



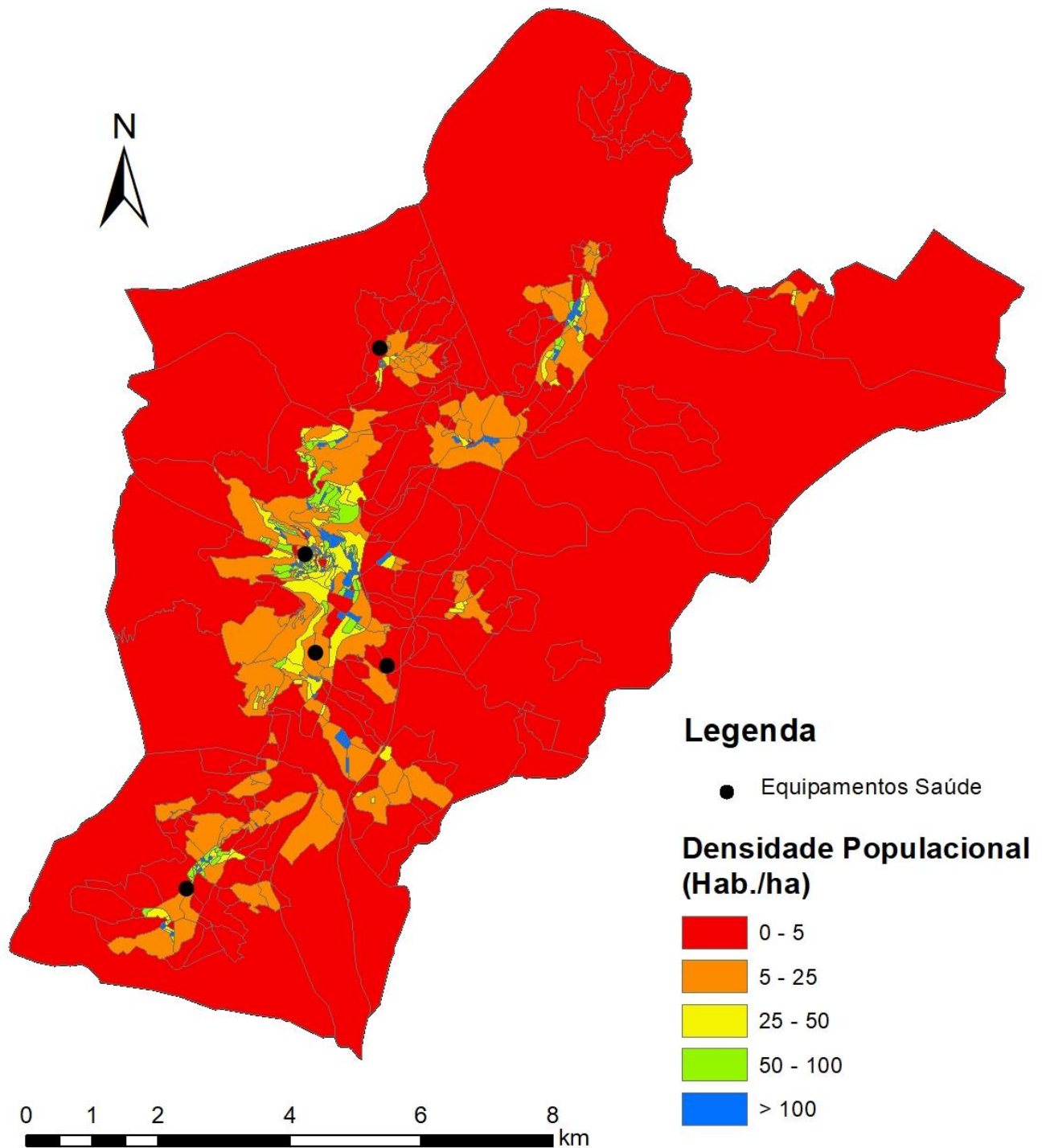
**Anexo 6: Carta temática 3:
Principais equipamentos (categoria educação)**



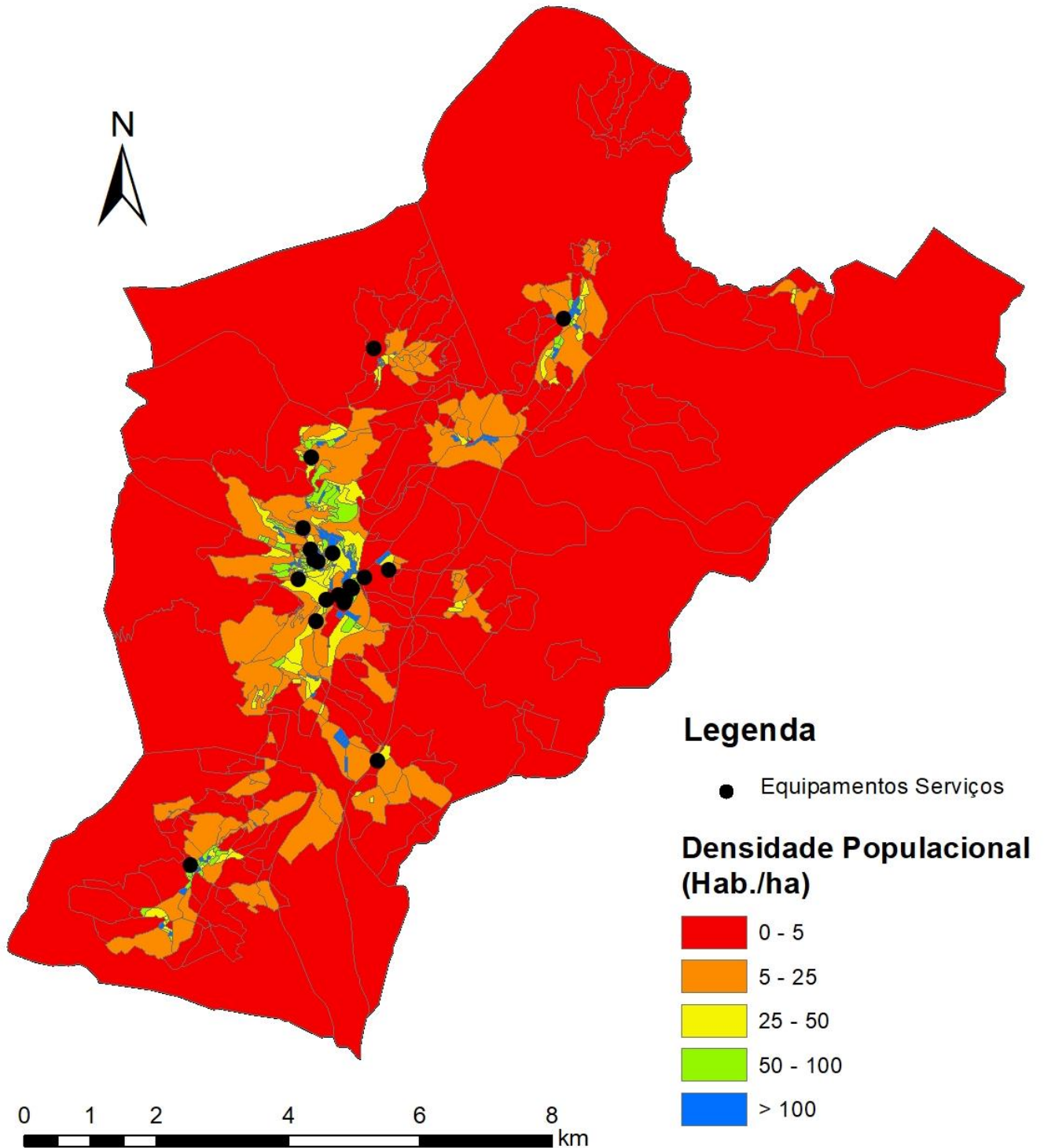
**Anexo 7: Carta temática 4:
Principais equipamentos (categoria lazer)**



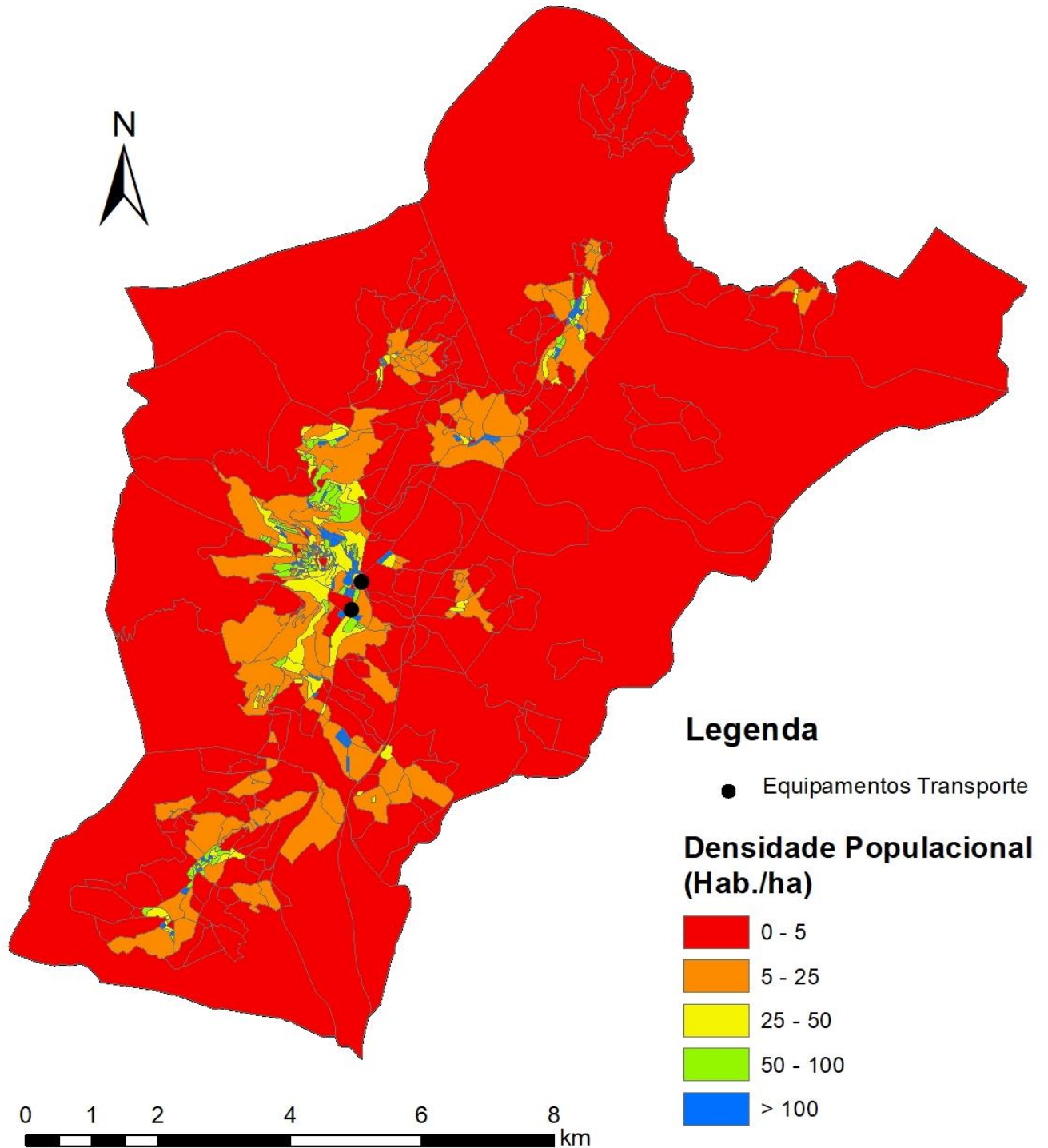
**Anexo 8: Carta temática 5:
Principais equipamentos (categoria saúde)**



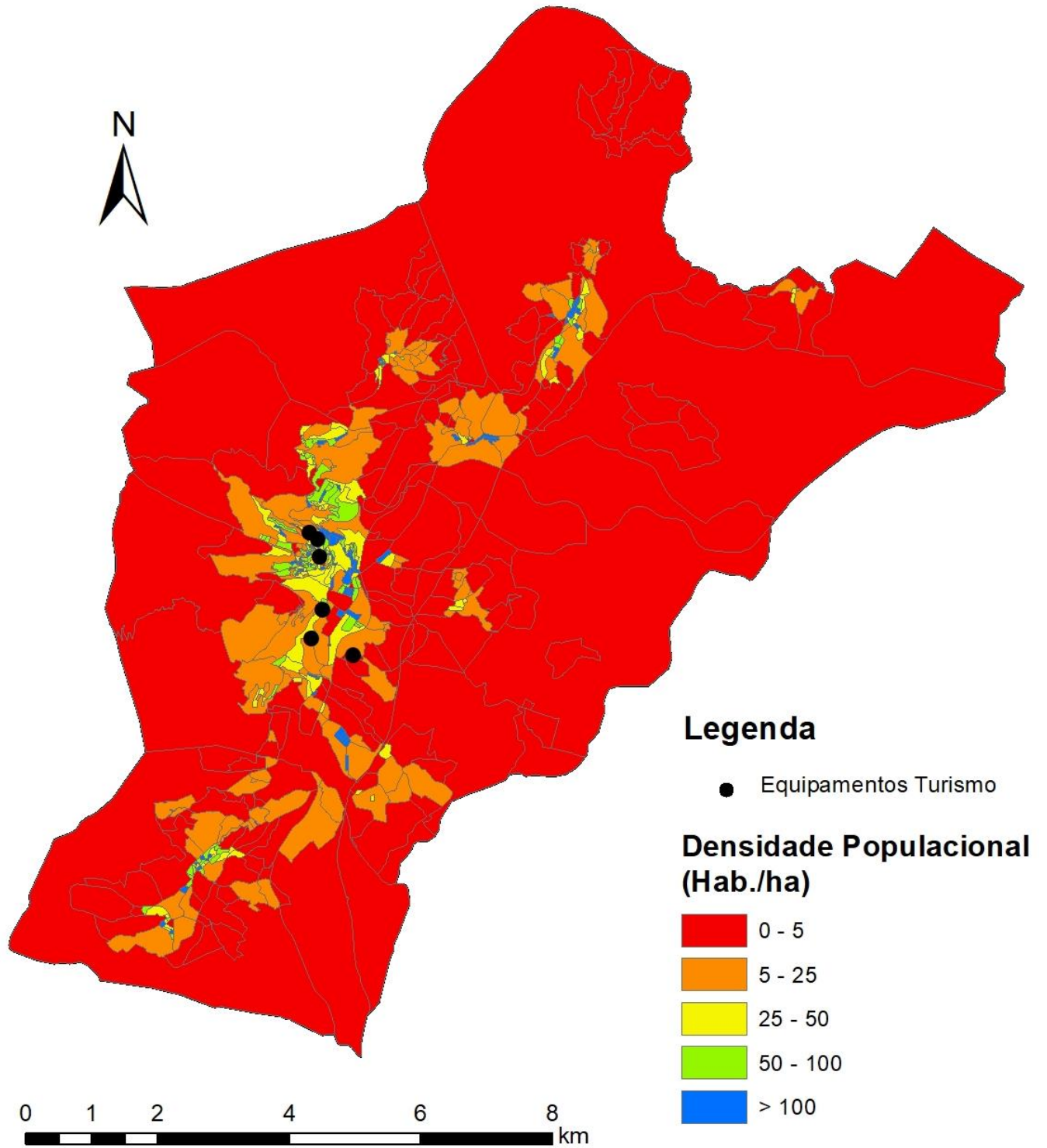
**Anexo 9: Carta temática 6:
Principais equipamentos (categoria serviço)**



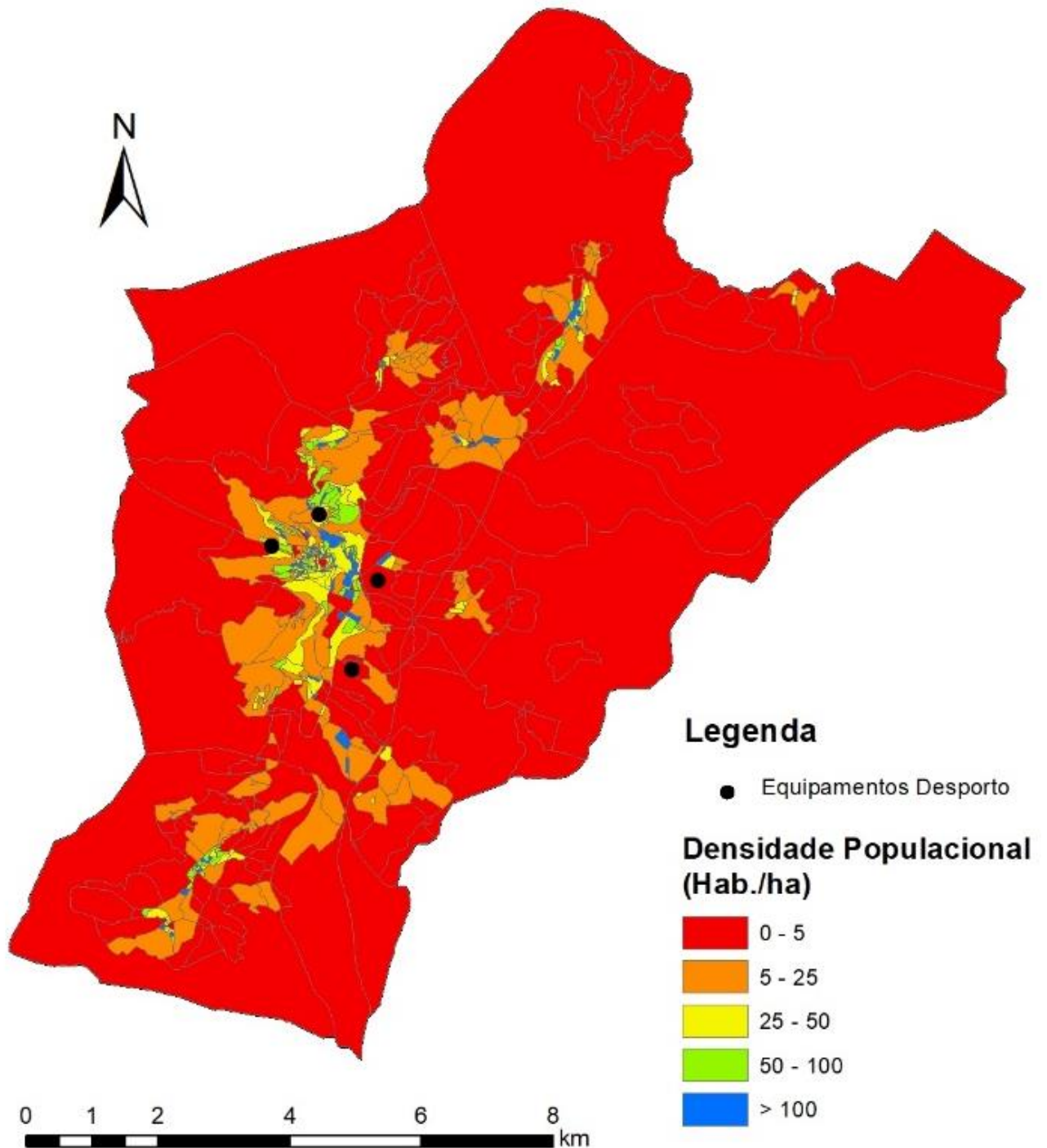
**Anexo 10: Carta temática 7:
Principais equipamentos (categoria transporte)**



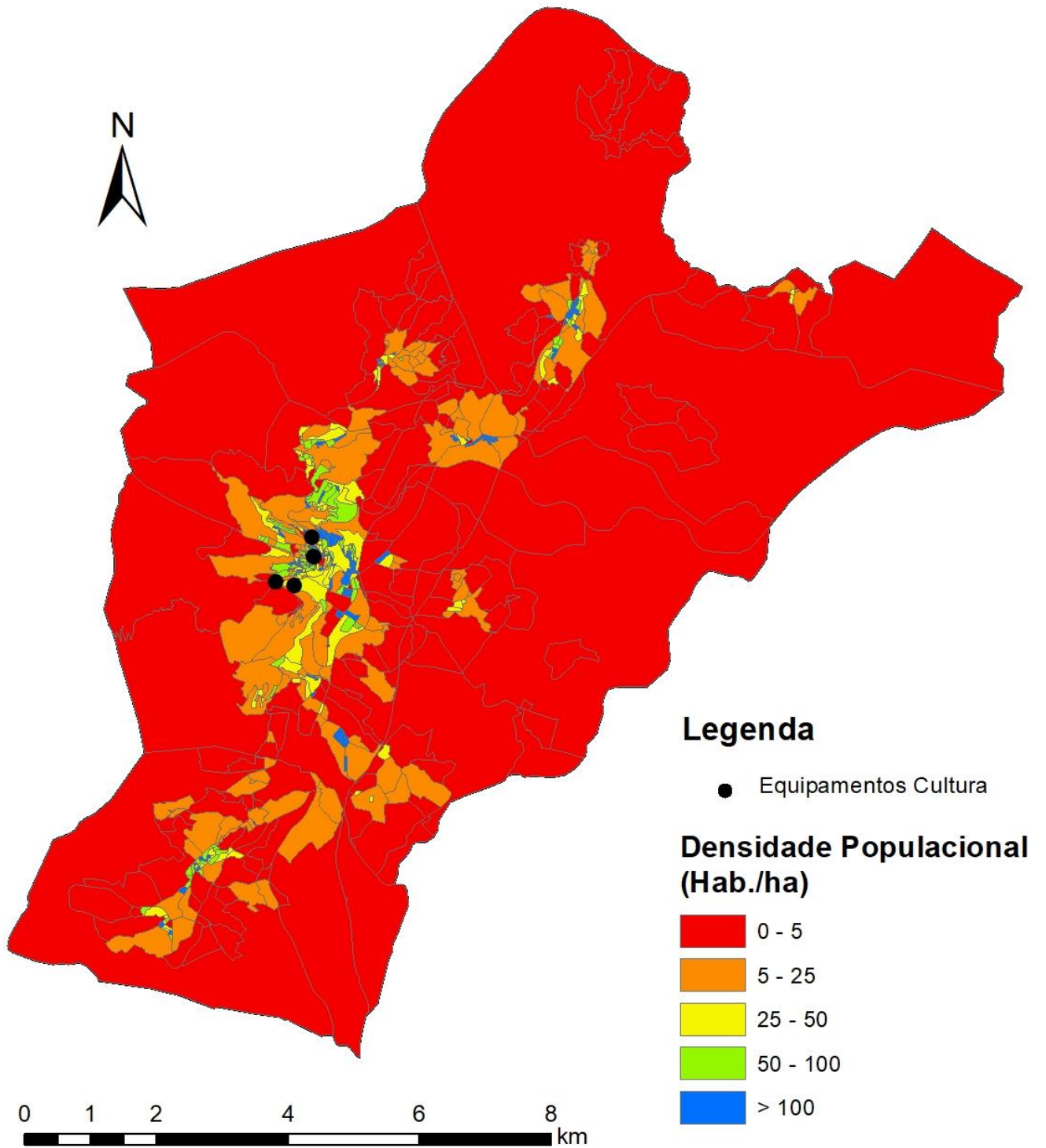
**Anexo 11: Carta temática 8:
Principais equipamentos (categoria turismo)**



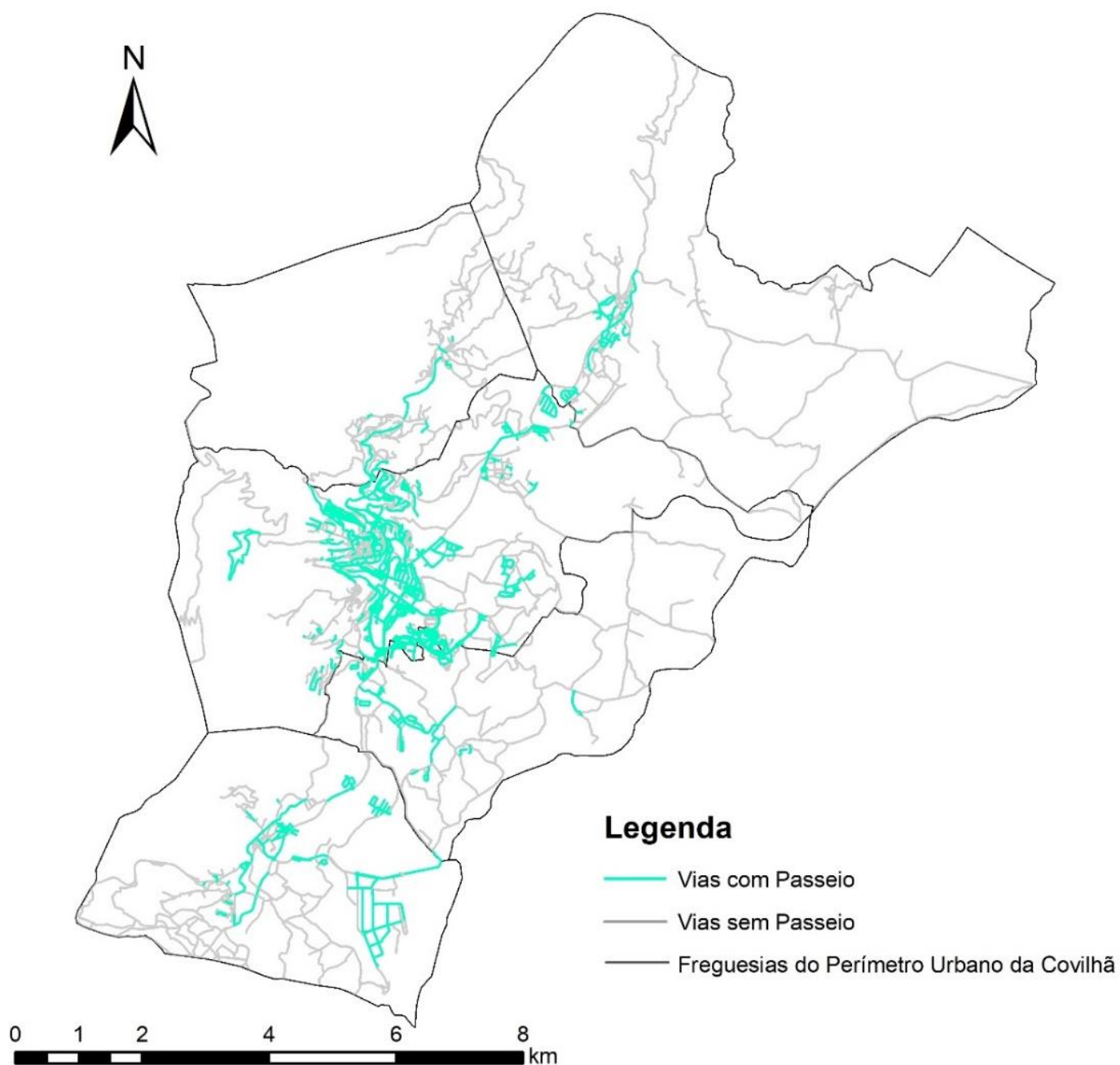
**Anexo 12: Carta temática 9:
Principais equipamentos (categoria desporto)**



**Anexo 13: Carta temática 10:
Principais equipamentos (categoria cultura)**

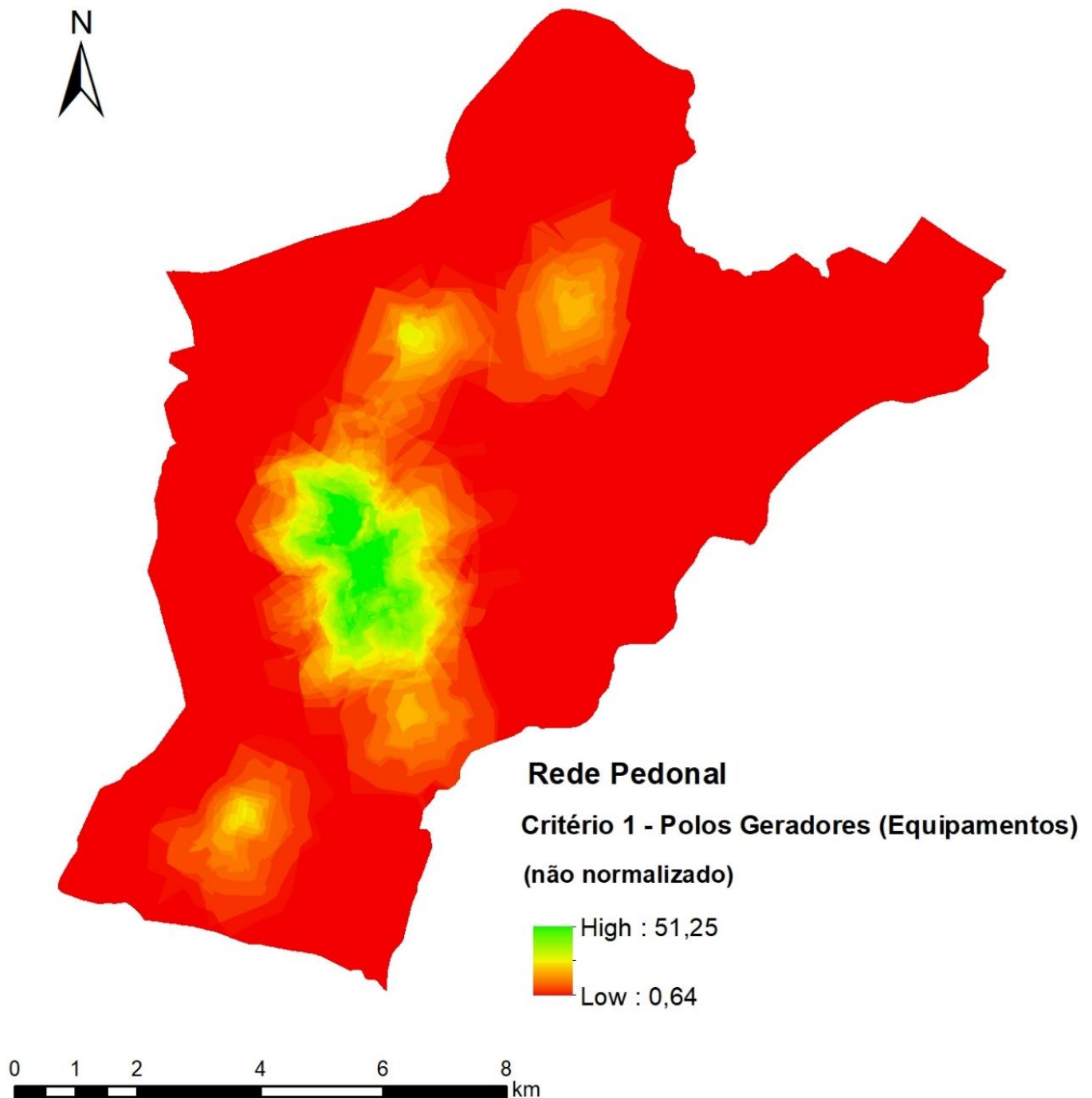


**Anexo 14: Carta temática 11:
Localização dos passeios**



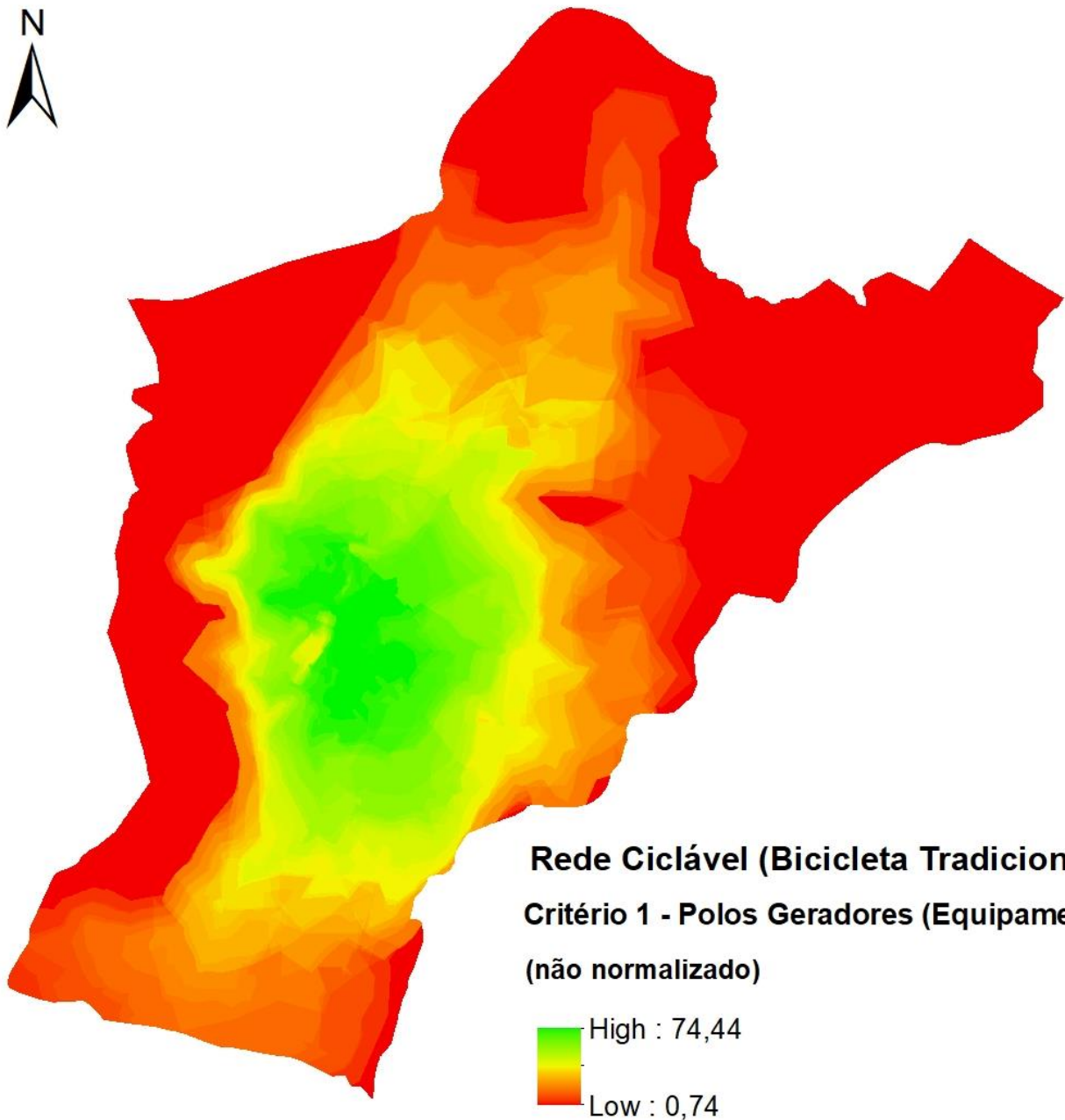
Anexo 15: Carta temática 12:

Mapa dos resultados obtidos para o critério dos polos geradores de viagens para modalidade pedonal (não normalizado).



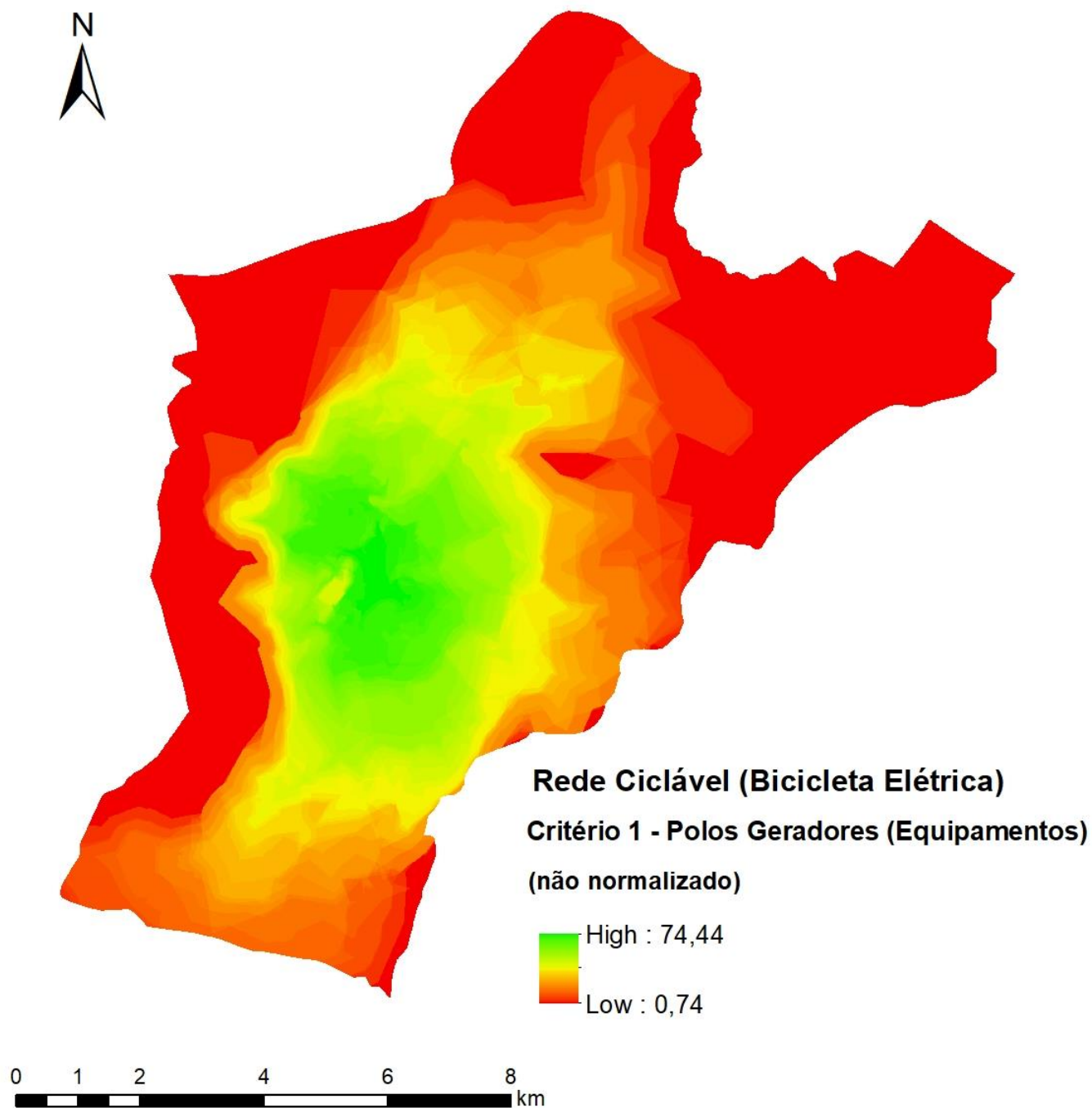
Anexo 16: Carta temática 13:

Mapa dos resultados obtidos para o critério dos polos geradores de viagens para modalidade bicicleta tradicional (não normalizado).



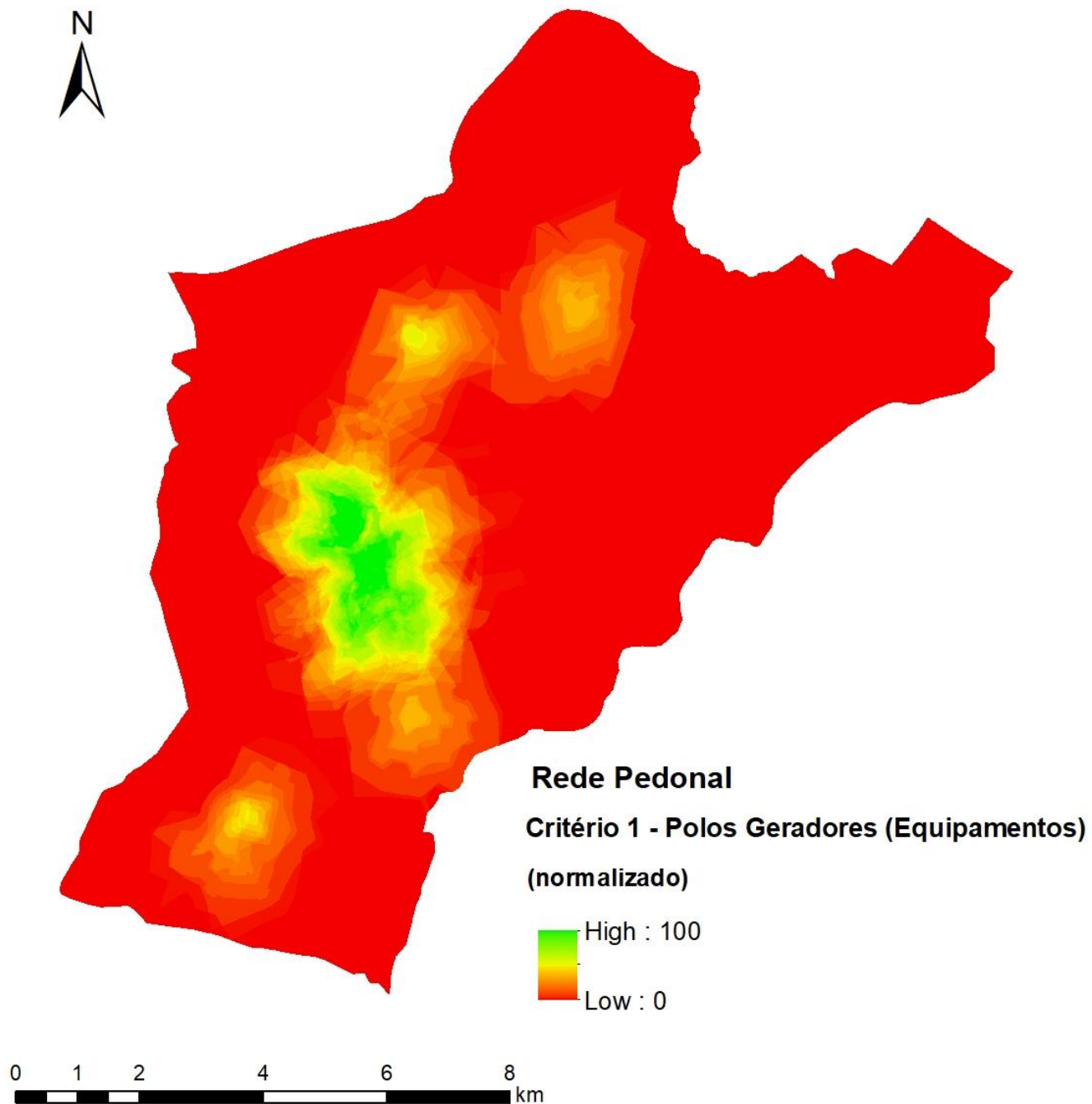
Anexo 17: Carta temática 14:

Mapa dos resultados obtidos para o critério dos polos geradores de viagens para modalidade bicicleta elétrica (não normalizado).



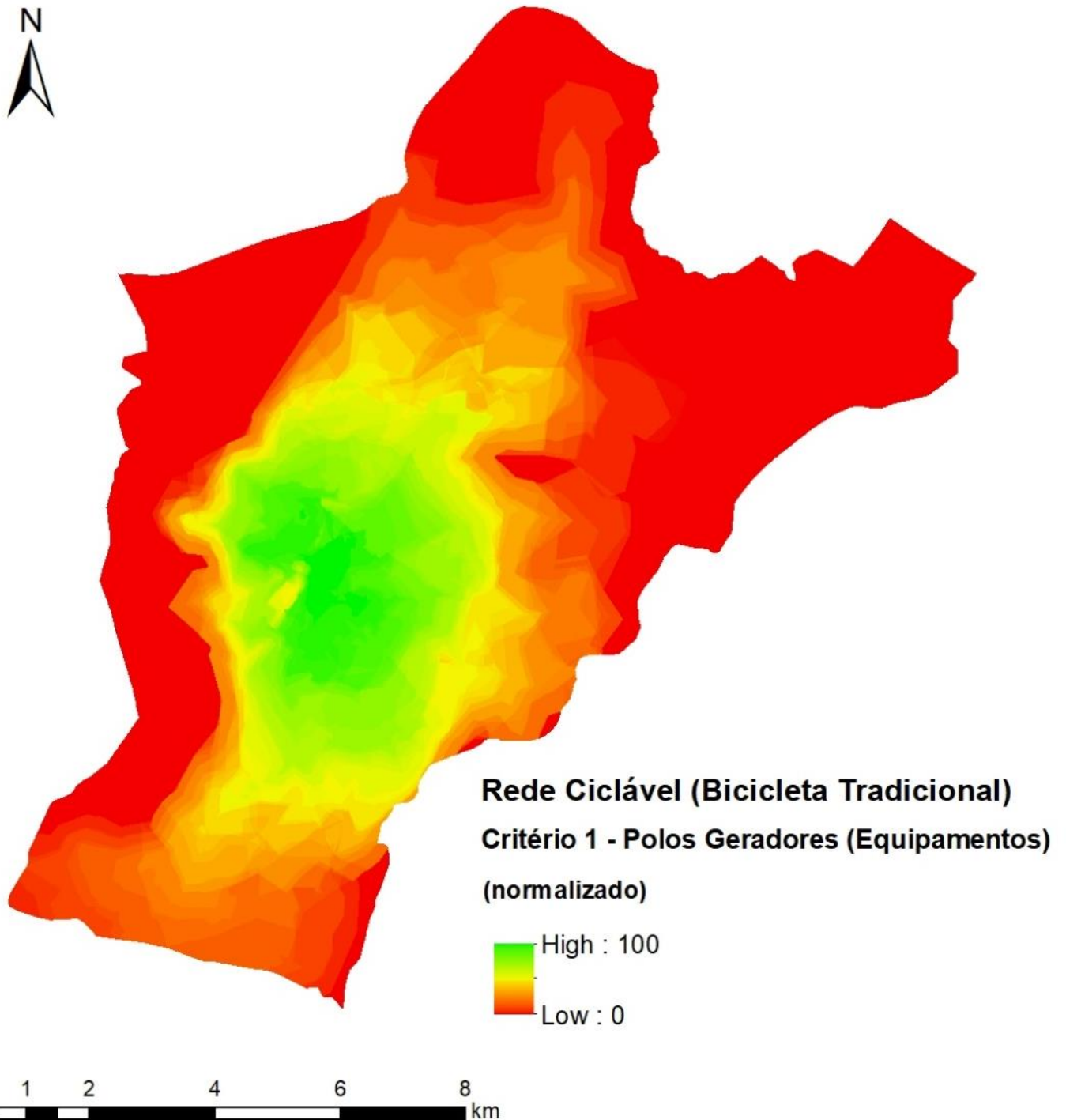
Anexo 18: Carta temática 15:

Mapa dos resultados obtidos para o critério dos polos geradores de viagens para modalidade pedonal (normalizado).



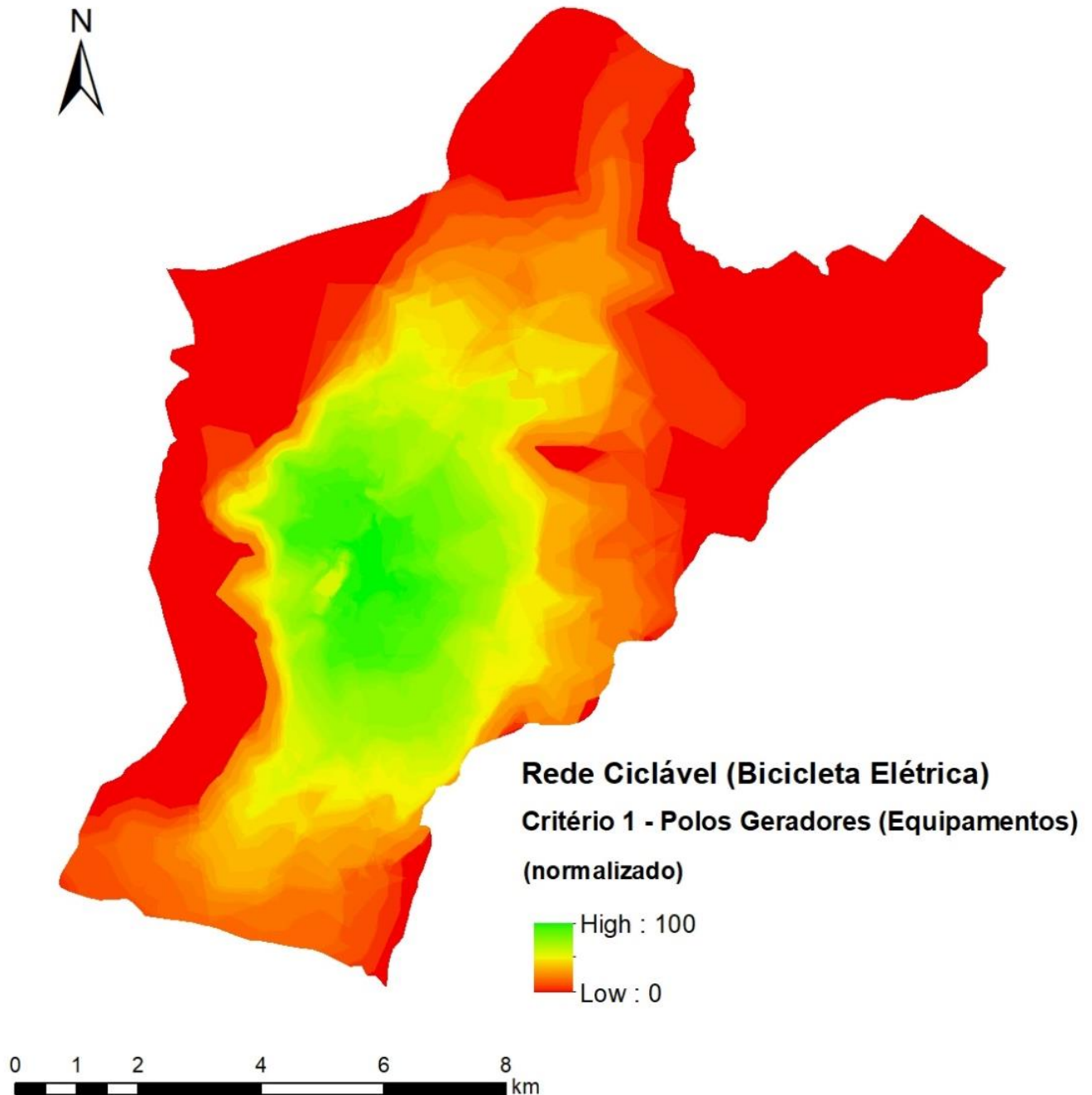
Anexo 19: Carta temática 16:

Mapa dos resultados obtidos para o critério dos polos geradores de viagens para modalidade bicicleta tradicional (normalizado).



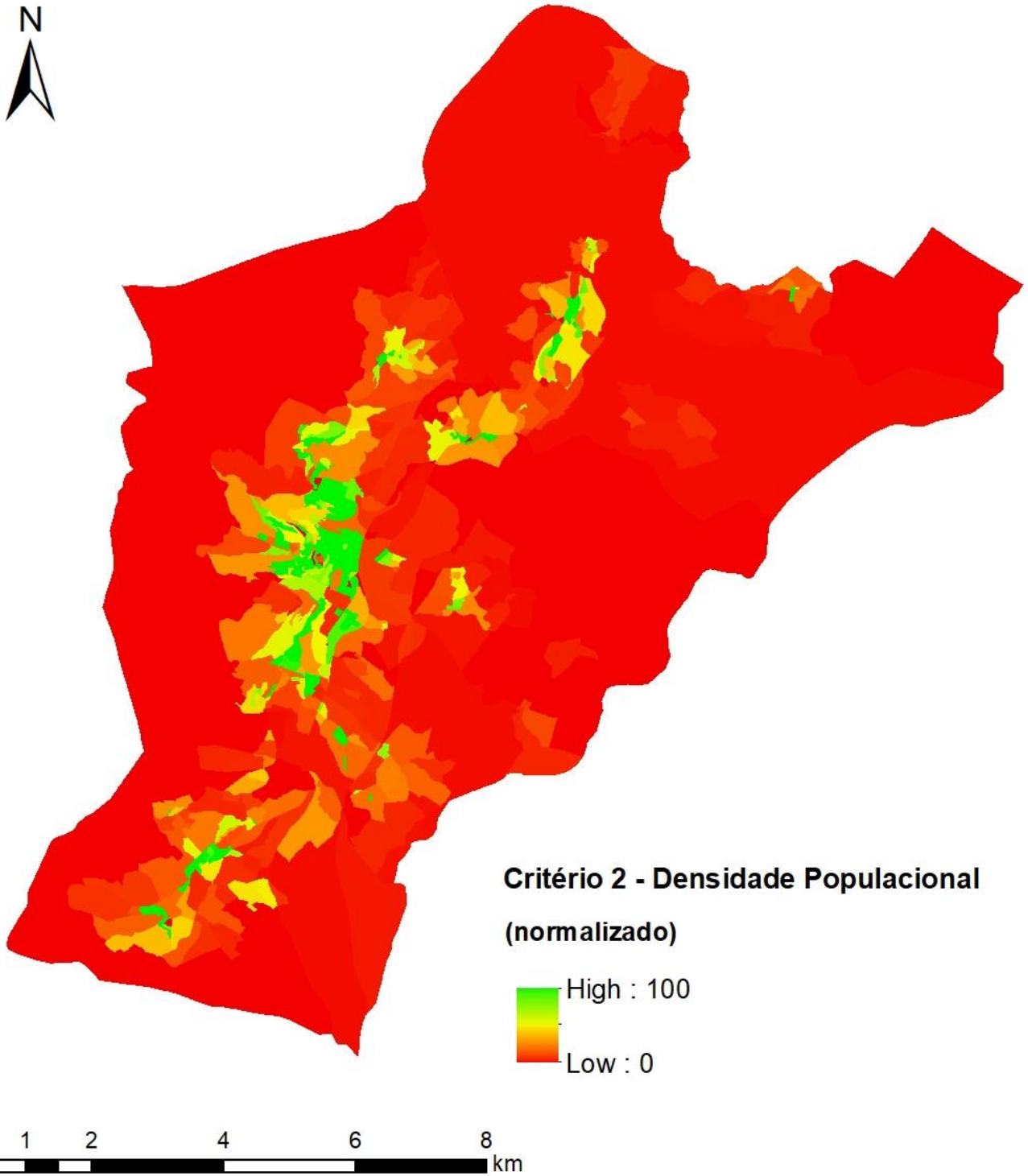
Anexo 20: Carta temática 17:

Mapa dos resultados obtidos para o critério dos polos geradores de viagens para modalidade bicicleta elétrica (normalizado).



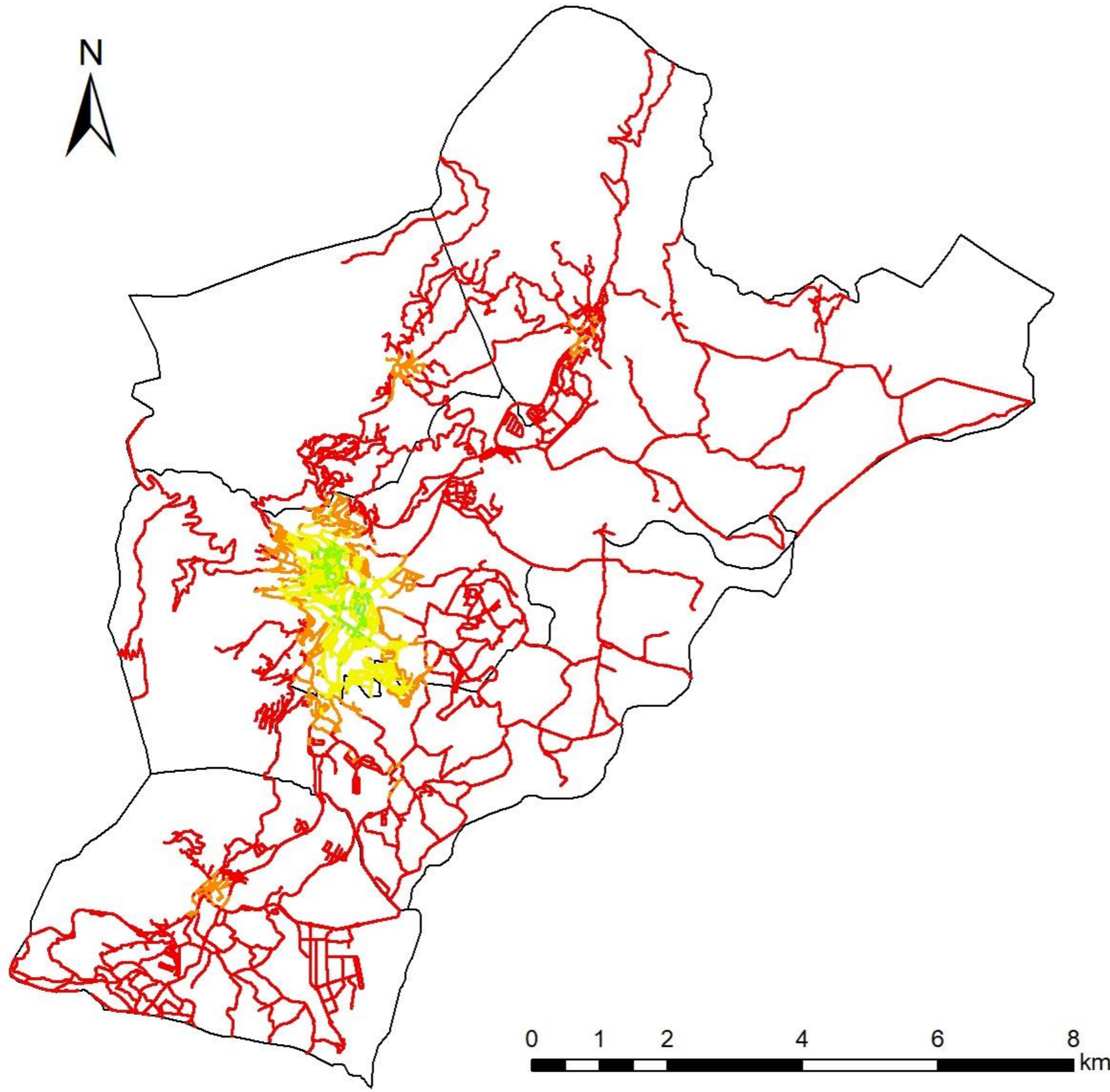
Anexo 21: Carta temática 18:

Mapa dos resultados obtidos para o critério 2 (densidade populacional).

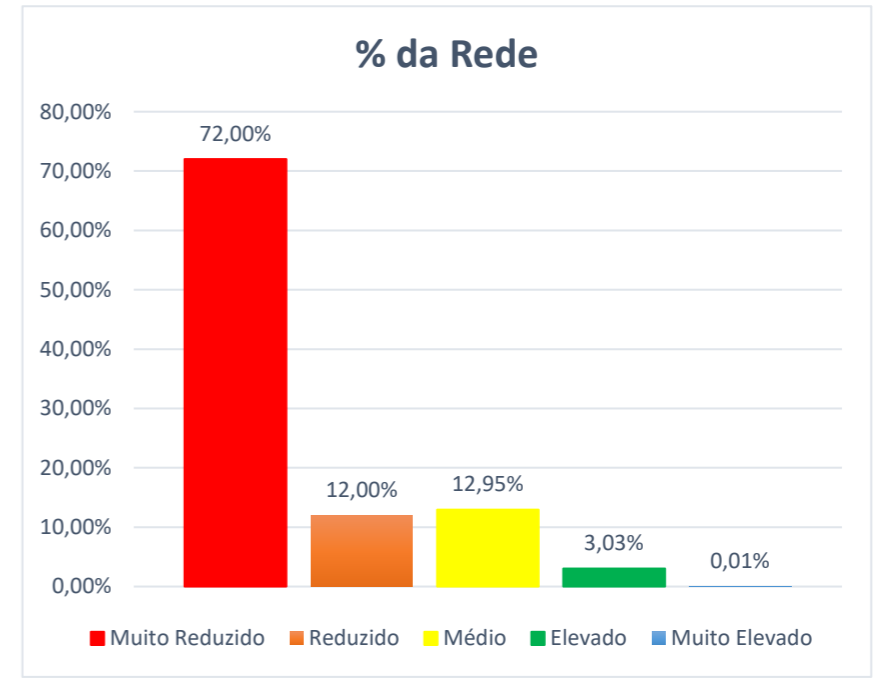


Anexo 22: Carta temática 19:

Mapa do potencial da infraestrutura pedonal do perímetro urbano da Covilhã.



Potencial Pedonal

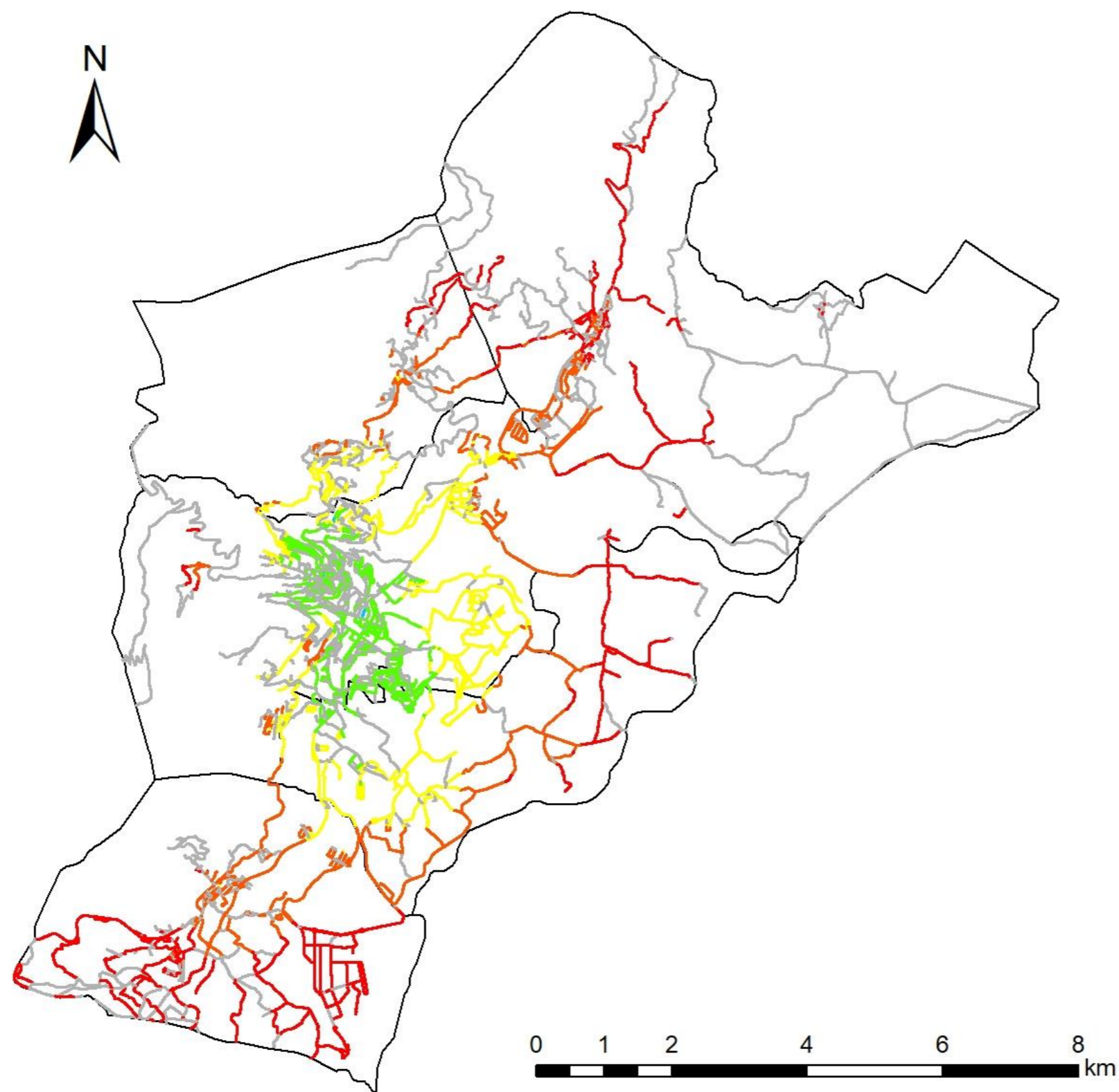


Legenda

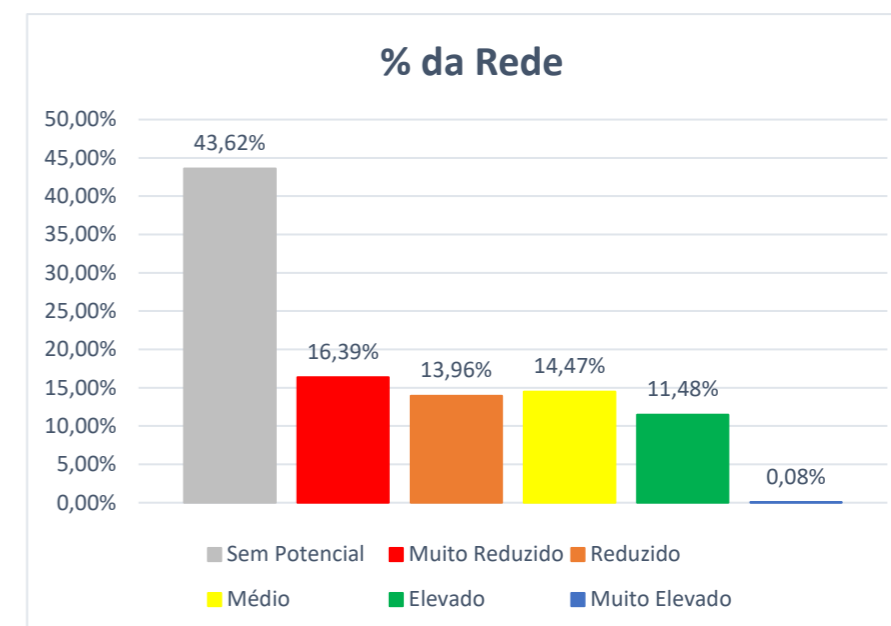
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 23: Carta temática 20:

Mapa do potencial da infraestrutura para bicicletas tradicionais do perímetro urbano da Covilhã.



Potencial Ciclável (Bicicleta Tradicional)

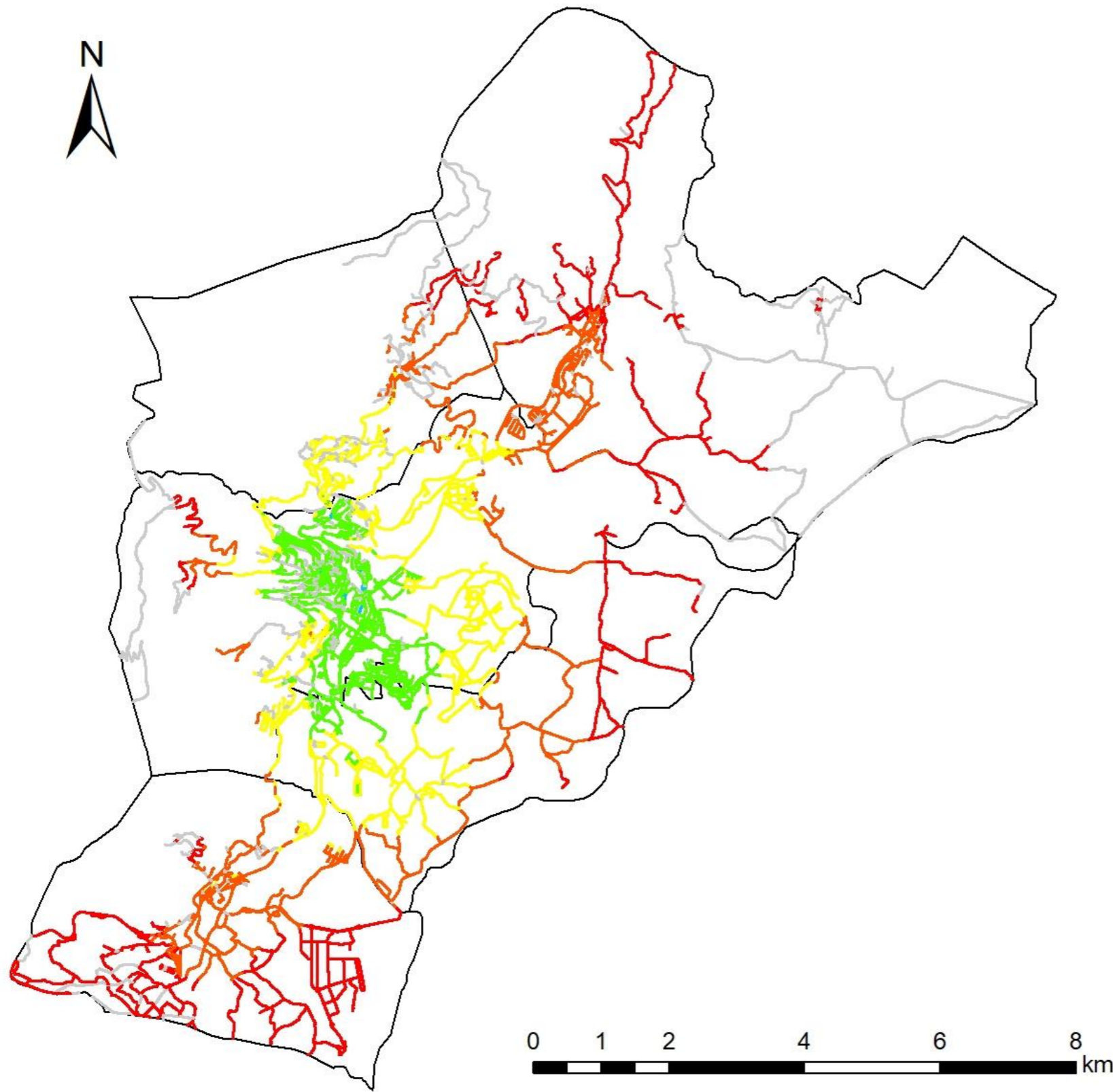


Legenda

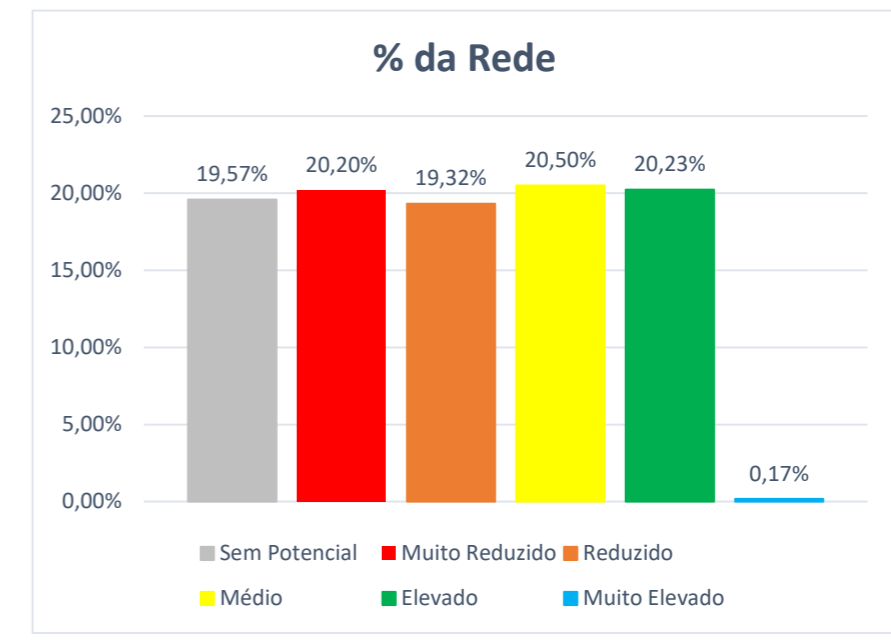
- Sem Potencial
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 24: Carta temática 21:

Mapa do potencial da infraestrutura para bicicletas elétricas do perímetro urbano da Covilhã.



Potencial Ciclável (Bicicleta Elétrica)

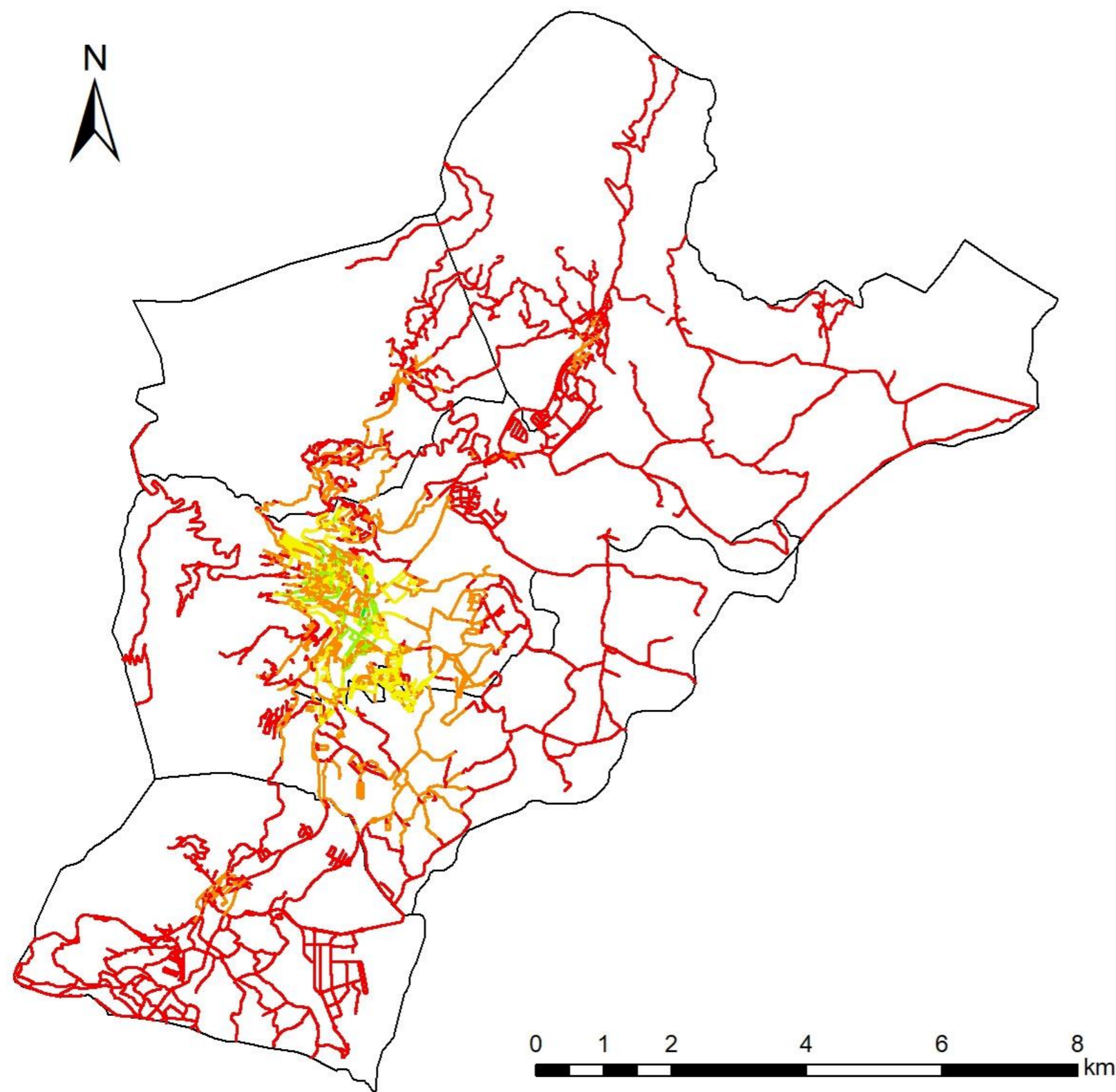


Legenda

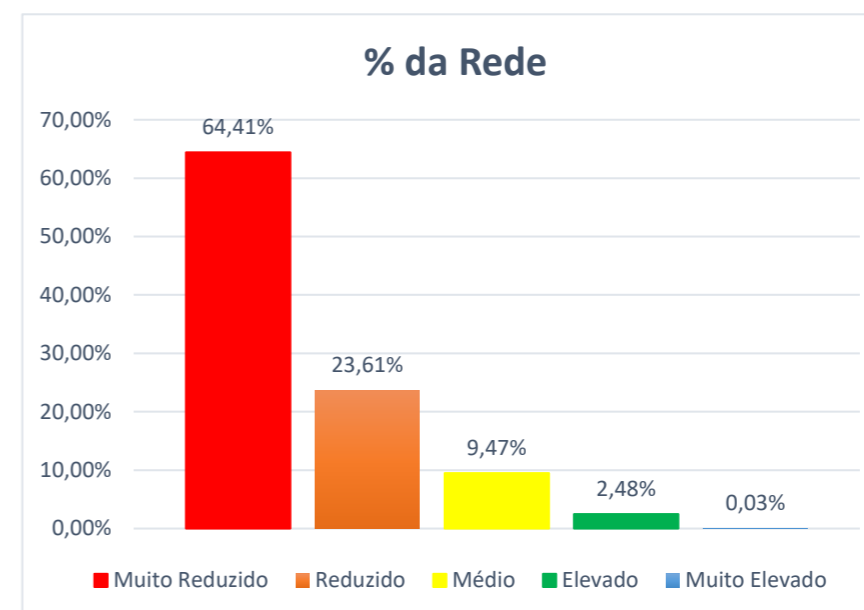
- Sem Potencial
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 25: Carta temática 22:

Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta tradicional (1ª combinação - 60%Ped e 40%Trad).



Potencial Mobilidade Suave (60%Ped+40%Trad.)

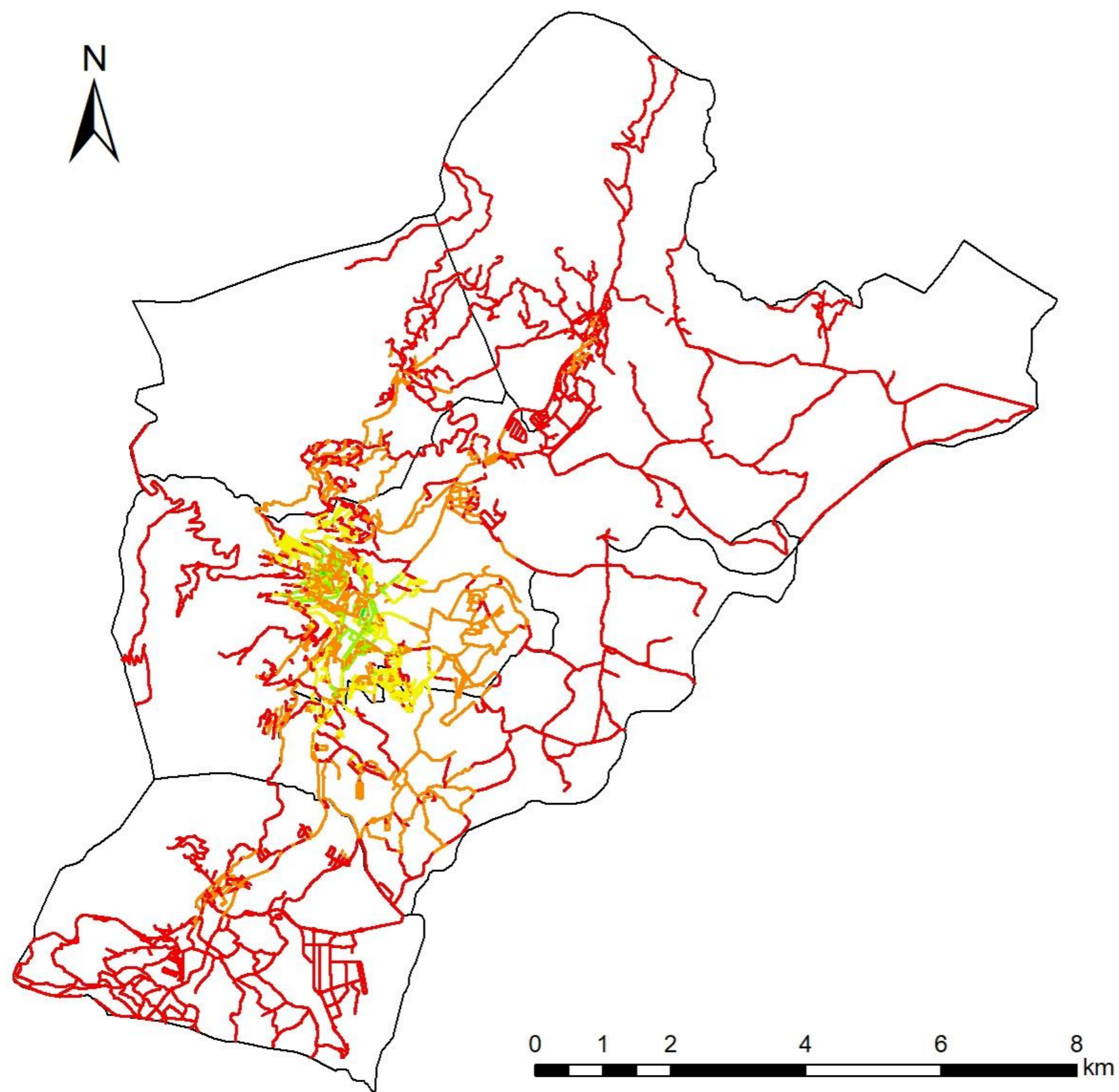


Legenda

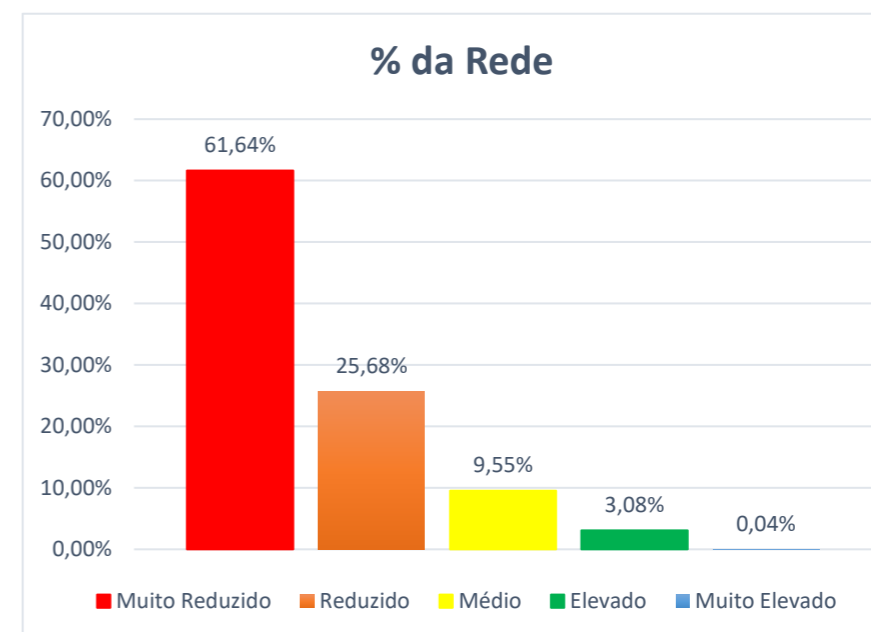
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 26: Carta temática 23:

Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta tradicional (2ª combinação - 50%Ped e 50%Trad).



Potencial Mobilidade Suave (50%Ped+50%Trad.)

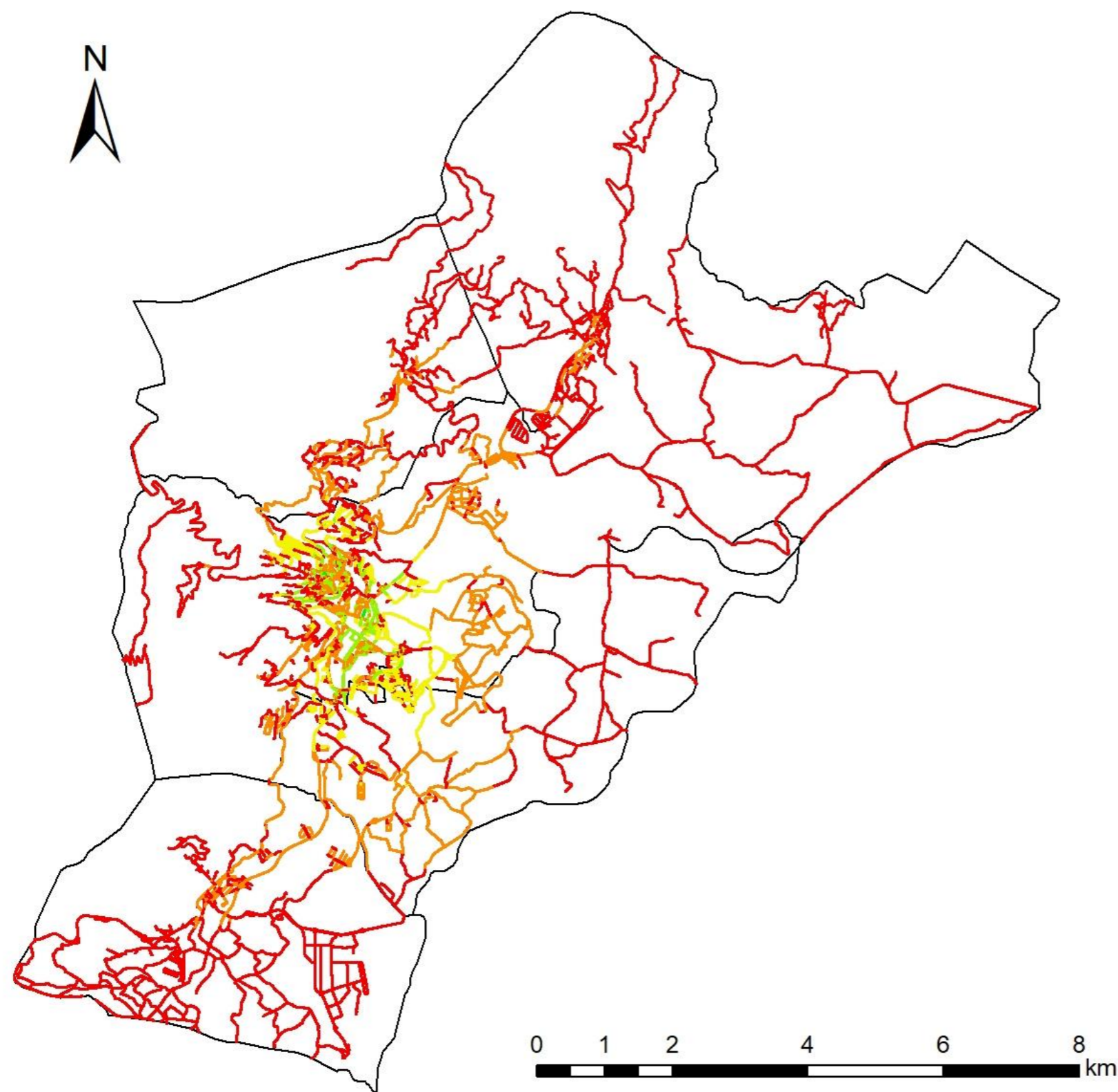


Legenda

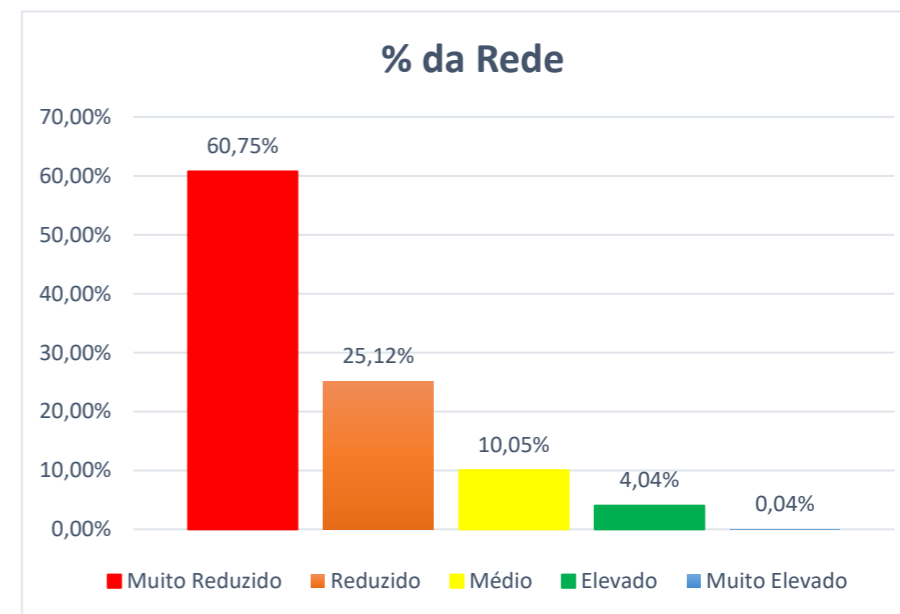
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 27: Carta temática 24:

Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta tradicional (3ª combinação - 40%Ped e 60%Trad).



Potencial Mobilidade Suave (40%Ped+60%Trad.)

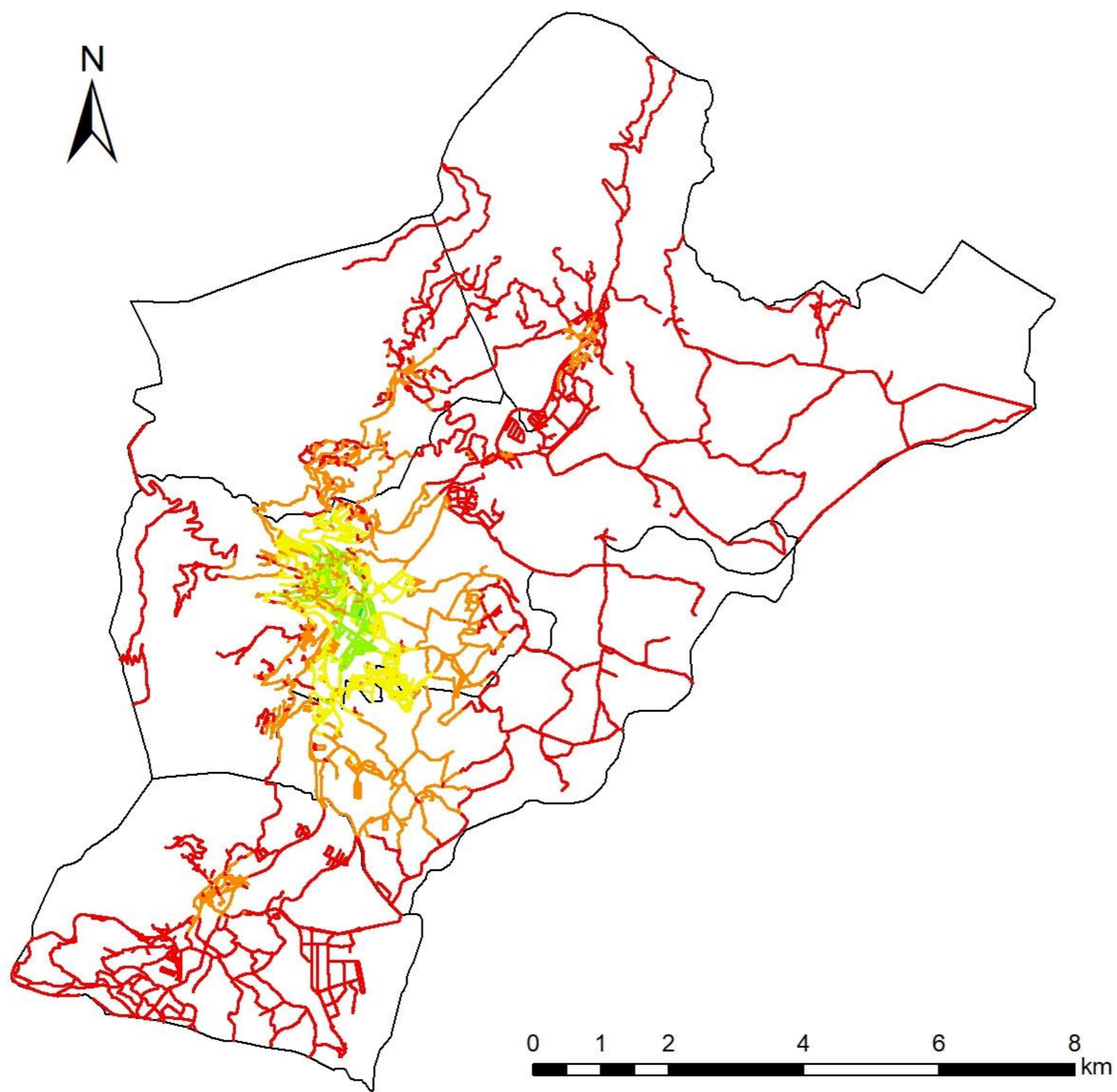


Legenda

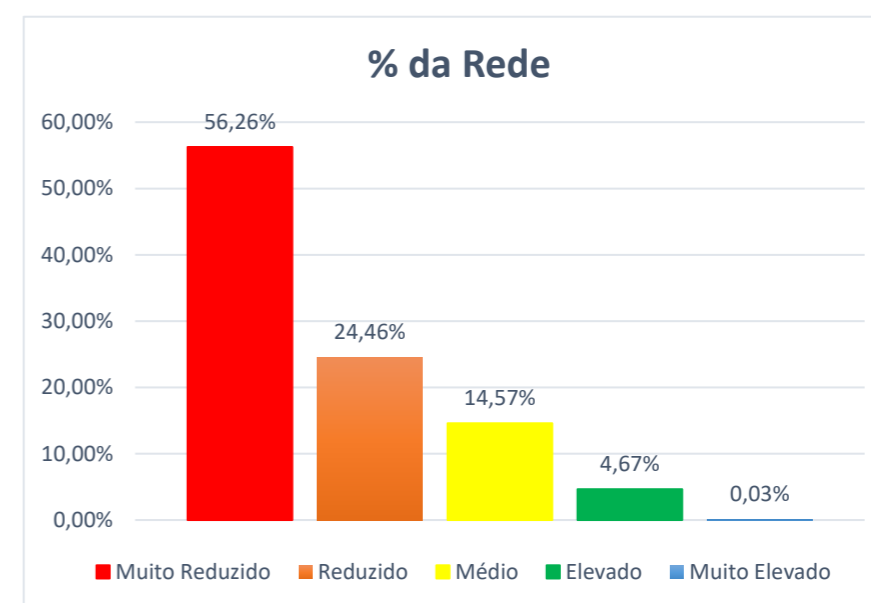
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 28: Carta temática 25:

Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta elétrica (1ª combinação - 60%Ped e 40%Trad).



Potencial Mobilidade Suave (60%Ped.+40%Elétr.)

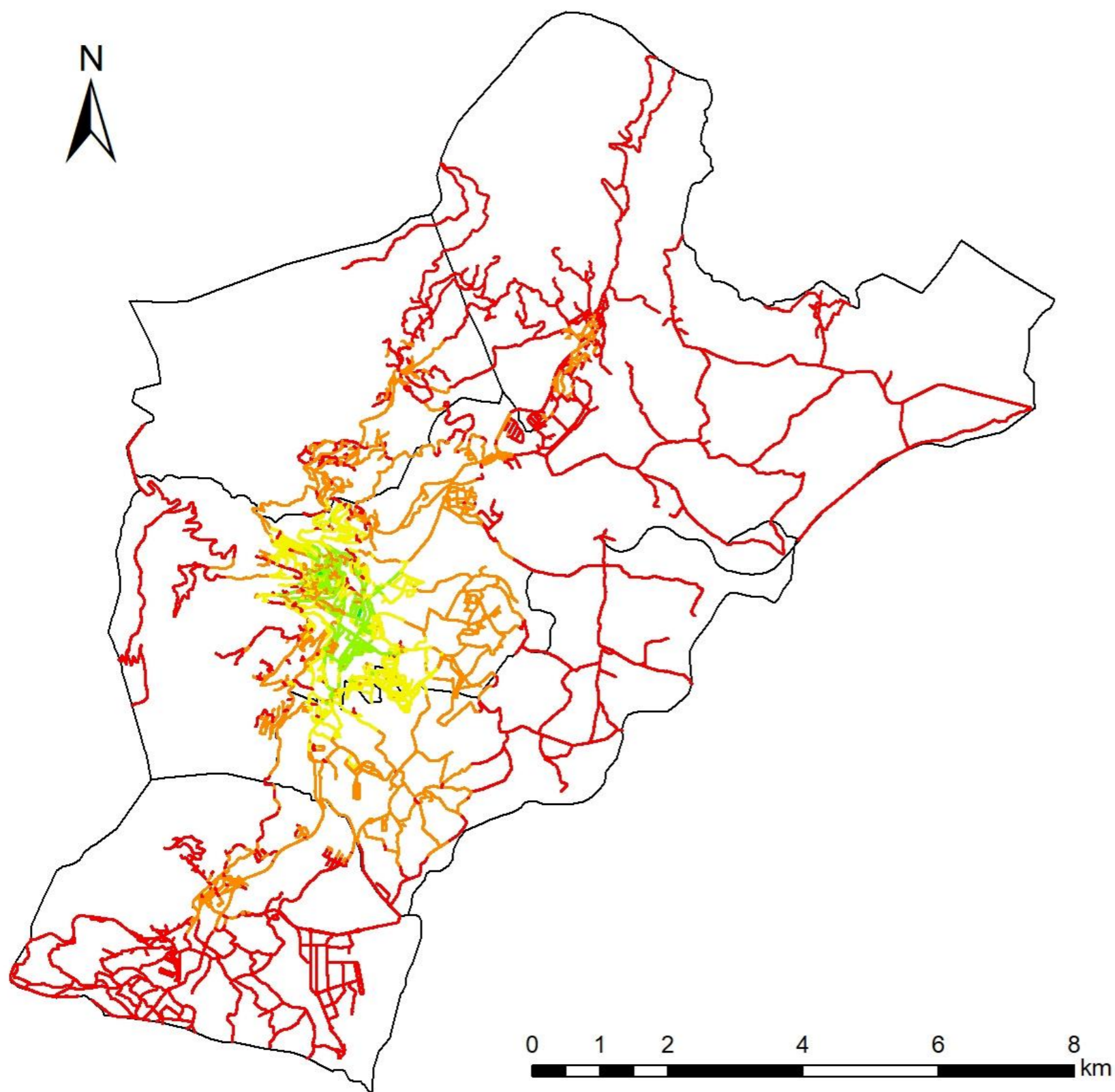


Legenda

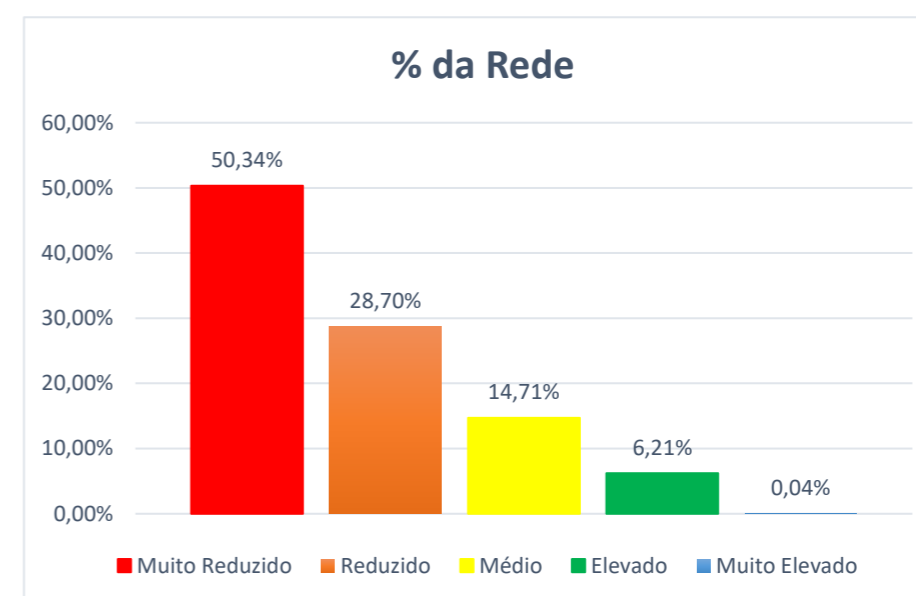
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 29: Carta temática 26:

Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta elétrica (2ª combinação - 50%Ped e 50%Trad).



Potencial Mobilidade Suave (50%Ped.+50%Elétr.)

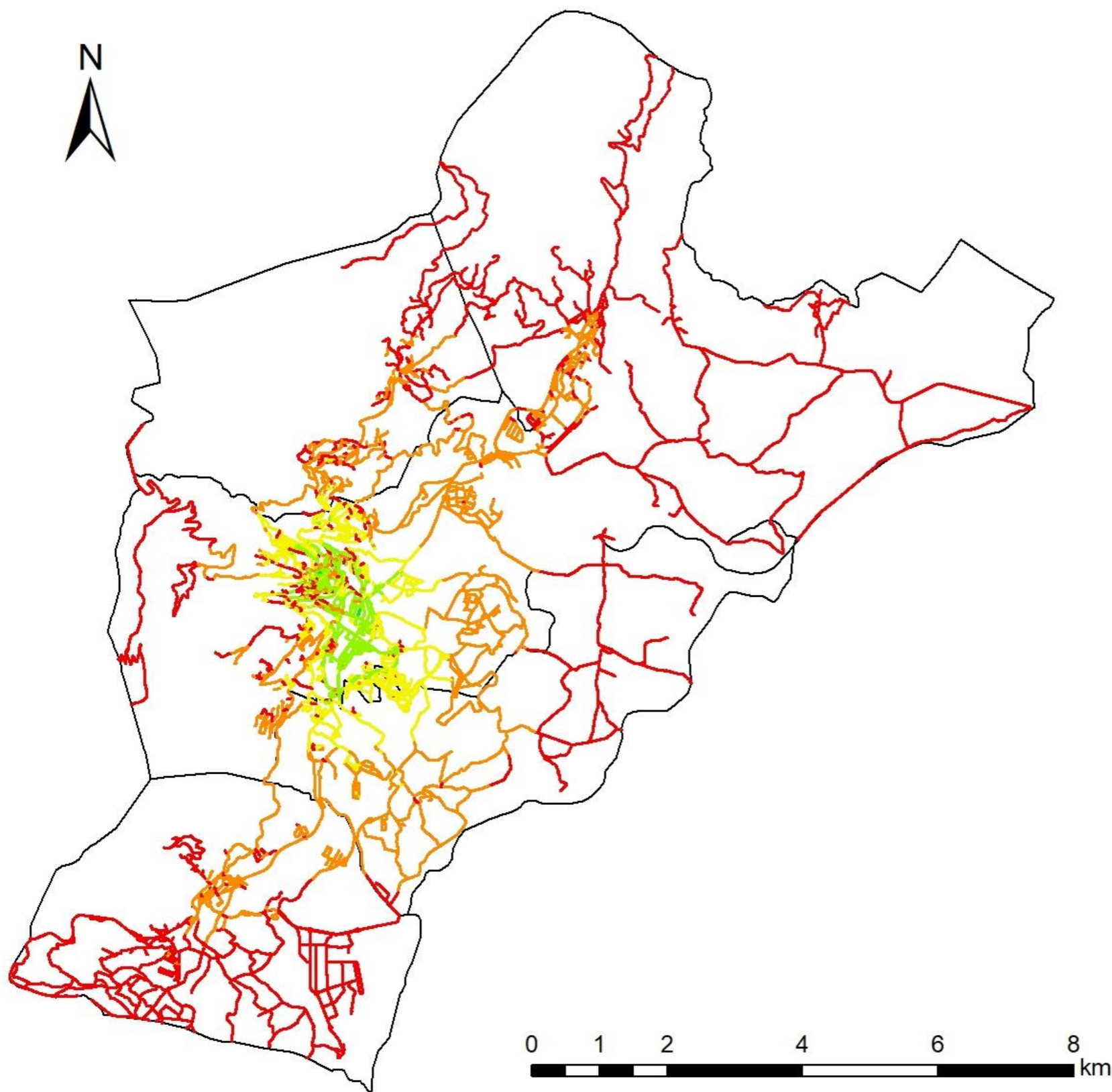


Legenda

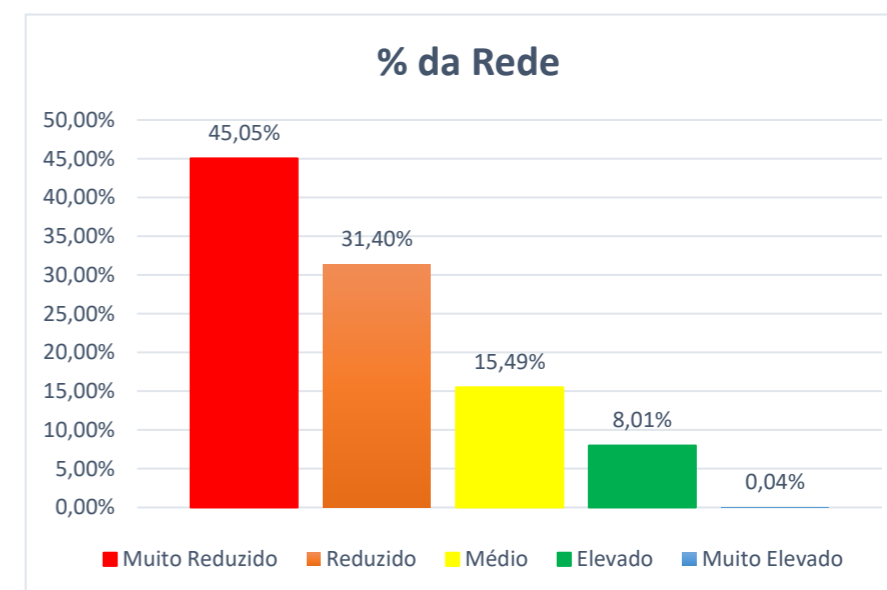
- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado

Anexo 30: Carta temática 27:

Mapa do potencial de mobilidade suave do perímetro urbano da Covilhã a partir da combinação entre o modo pedonal e o uso de bicicleta elétrica (3ª combinação - 40%Ped e 60%Trad).



Potencial Mobilidade Suave (40%Ped.+60%Elétr.)



Legenda

- Muito Reduzido
- Reduzido
- Médio
- Elevado
- Muito Elevado